

# MANUAL TÉCNICO DE ENCOSTAS

## ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO

### VOLUME 1

**PREFEITURA DO RIO**  
SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS

**GEORIO**  
FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA  
DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO



## ÍNDICE

Prólogo .....	9
1. Introdução .....	10
Apresentação .....	10
Organização do manual.....	10
Formato .....	12
Elaboração do Manual .....	12
Equipe da GeoRio .....	13
2. ROCHAS E SOLOS DO RIO DE JANEIRO.....	14
Introdução .....	14
Litologias .....	14
Litotipos gnáissicos.....	21
Minerais das rochas metamórficas do Rio de Janeiro.....	22
Litotipos ígneos.....	22
Minerais das rochas ígneas do Rio de Janeiro .....	25
Minerais Essenciais:.....	25
Minerais claros:.....	25
Minerais escuros ou ferromagnesianos:.....	25
Minerais Acessórios:.....	26
Minerais Resistatos: .....	26
Estruturas Geológicas .....	26
Estruturas tectônicas .....	26
Falhas .....	26
Elementos da Falha:.....	27
Juntas ou Diáclases .....	29
Dobras .....	30
Foliações e lineações.....	30
Zonas de Cisalhamento .....	30
Juntas de Alívio ou de Descompressão.....	32
Juntas de contração de Massas Ígneas .....	34
Arcabouço Estrutural do Rio de Janeiro .....	34
Variação da atitude da foliação principal dos Gnaisses do Maciço da Tijuca:.....	35
Solos e Perfis de Alteração .....	36
Introdução .....	36
Classificação dos Solos.....	36
Classificação Pedológica.....	36
Classificação Geológica.....	36
Classificação Textural ou Granulométrica.....	38

Classificação Geotécnica .....	38
Perfil do Solo .....	39
Perfis de Alteração .....	40
Definição e características .....	40
Critérios para descrição de perfis de alteração no Rio de Janeiro .....	47
Caracterização geomecânica dos materiais dos perfis de alteração .....	50
Procedimentos gerais: .....	50
Caracterização de Maciços Rochosos .....	51
Litologia.....	51
Classificação para rochas ígneas.....	51
Cor.....	51
Textura, Estrutura, Trama ou Fabric .....	52
1. Resistência .....	53
2. Alteração.....	54
3. Descontinuidades .....	54
Ensaaios para caracterização de Maciços Rochosos.....	58
Caracterização Petrográfica .....	58
Propriedades Índices .....	58
Propriedades Mecânicas.....	58
Propriedades Hidráulicas .....	58
Retroanálise.....	59
Classificações Geomecânicas .....	59
Legenda para mapas, plantas e perfil geológico- geotécnico.....	60
Símbolos geológicos .....	60
Anexo 1 – Litotipos gnáissicos e ígneos.....	64
3. MOVIMENTOS DE MASSA .....	65
Introdução .....	65
Classificação .....	65
Classificação dos tipos de instabilidade de encosta no Rio de Janeiro.....	68
Fatores que controlam os movimentos de massa .....	76
Critérios para descrição dos movimentos de massa.....	81
Métodos de Investigação utilizados no Estudo dos Movimentos de Massa .....	82
Mapas de Susceptibilidade e Cartas de Risco a Escorregamentos.....	87
Cartas de Risco - Metodologia de Preparação e Atualização .....	88
4. Investigações geotécnicas .....	93
Introdução .....	93
Investigações expeditas.....	93
Inspeção por geólogos e engenheiros.....	93
Cadastramento da ocorrência:.....	94

Levantamentos topográficos preliminares .....	94
Normas de sondagens e amostragem .....	94
Sondagens a trado .....	95
Poços de inspeção .....	95
Investigações detalhadas .....	95
Topografia.....	95
Métodos indiretos.....	95
Métodos diretos.....	96
Coleta de amostras em blocos.....	98
Ensaaios in situ .....	99
Ensaaios de laboratório.....	99
Ensaaios de caracterização.....	99
Ensaaios para a determinação da resistência ao cisalhamento .....	100
Parâmetros típicos de resistência .....	102
Critérios de investigações a realizar.....	103
Exemplo de investigação: o escorregamento do Soberbo.....	104
5. Escolha da solução .....	106
Introdução .....	106
Taludes em solo .....	107
Taludes com contato solo rocha.....	110
Taludes em rocha .....	110
Resumo das soluções .....	113
6. Instrumentação de taludes.....	114
Introdução .....	114
Grandezas a medir.....	115
Instrumentos.....	115
Pluviômetro.....	115
Piezômetros.....	116
Inclinômetros .....	122
Células de carga .....	125
Medição de deslocamentos superficiais.....	127
Sistemas de alarme.....	127
Níveis críticos de precipitação .....	129
Previsão meteorológica de curto prazo .....	131
Instrumentação automática de encostas específicas.....	131
Monitoramento automático para um pequeno número de instrumentos.....	137
7. Referências.....	139
8. Anexo II – Manuais GeoRio .....	145
9. Anexo III – Normas ABNT .....	146

Cimento, concreto e argamassa.....	146
Agregados .....	146
Levantamentos e projetos.....	148
Rochas e Solos .....	148
Sondagens e amostragem.....	148
Taludes e escavações .....	149
Tirantes.....	149
Relatório.....	150
Projeto .....	150
Drenagem.....	150
Ensaio de cone .....	150
Concreto.....	150
10. Anexo IV – Normas DNER .....	159
Especificações de serviços .....	159
Instrução de Ensaio (IE).....	159
Métodos de ensaio (ME).....	159
Procedimentos (PRO) .....	160
11. Anexo V – Publicações ABGE .....	161
12. Anexo VI – Publicações GeoRio .....	162
13. Anexo VII – Glossário Geológico .....	164

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Organização do texto.....	11
Figura 2.1 - Mapa geológico do maciço da Tijuca .....	16
Figura 2.2 - Plano de falha com estrias. Infere-se o sentido do movimento (seta ab) com base nos ressaltos na superfície estriada.....	28
Figura 2.3 - Brecha de falha com cimento calcedônico.....	29
Figura 2.4 - Rocha milonitizada.....	31
Figura 2.5 - Juntas de alívio, com individualização de lascas, granito Pedra Branca.....	32
Figura 2.6 - Juntas de alívio no gnaissé .....	32
Figura 2.7 - Juntas de alívio interceptando fraturas tectônicas com formação de blocos.....	32
Figura 2.8 - Juntas de alívio conjugadas com fraturas tectônicas – formação de blocos - .....	32
Figura 2.9 - Juntas de alívio acompanhando planos de foliação do gnaissé, interceptadas por fraturas de origem tectônica e gerando blocos .....	33
Figura 2.10 - Juntas de alívio e formação de lascas.....	33
Figura 2.11 - Juntas de contração no diabásio com formação de blocos .....	34
Figura 2.12 - Depósito de tálus, base do Morro Dois Irmãos .....	37
Figura 2.13 - Perfil do solo: uma comparação entre as classificações pedológica e geotécnica (de Kertzman e Diniz, modificado por Souza, 1992).....	40
Figura 2.14 - Características principais dos horizontes de um perfil de alteração de rochas ígneas e metamórficas e respectivas soluções típicas para taludes de corte (Deere e Patton, 1971 apud Augusto Filho e Virgili, 1998) .....	41
Figura 2.15 - Perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões de serra (Pastore e Fontes, 1998).....	44

Figura 2.16 - Perfil de alteração em gnaiss com estruturas reliquias, Rio das Pedras .....	44
Figura 2.17 - Perfil de alteração em gnaiss Archer com estruturas reliquias e núcleos preservados, Rua Gama Malcher .....	45
Figura 2.18 - Símbolos geológicos .....	61
Figura 2.19 - Símbolos geológicos (Continuação).....	62
Figura 2.20 - Perfil geológico- geotécnico.....	63
Figura 3.1 - Queda, Tombamento de blocos, rolamento de matacões e principais tipos de escorregamentos.....	67
Figura 3.2 - Queda de blocos e lascas – Encosta do Vidigal, 1993 (foto Geo Rio).....	70
Figura 3.3 - Deslizamento de solo residual - São Conrado, 1996 (foto Geo Rio) .....	71
Figura 3.4 - Corridas de Solo Residual e lixo - Pavão-Pavãozinho, 1983 (foto Geo Rio) .....	72
Figura 3.5 - Deslizamentos e corrida de detritos - Quitite, Jacarepaguá – 1996 (foto Geo Rio).....	73
Figura 3.6 - Corridas de solo residual e deslizamentos de rocha - Estrada Grajaú-Jacarepaguá, 1996 (foto Geo Rio).....	73
Figura 3.7 - Perfil geológico esquemático da encosta da Rua Capuri, São Conrado.....	74
Figura 3.8 - <i>Encosta do Morro Santa Marta</i> .....	75
Figura 3.9 - Perfil geológico esquemático da encosta a montante da Clínica Santa Genoveva .....	75
Figura 3.10 - Perfil geológico esquemático da encosta da estrada Grajaú-Jacarepaguá.....	76
Figura 3.11 - Brecha de falha saturada ocasionando instabilidade na encosta. Rua Almirante Salgado, Laranjeiras.....	76
Figura 3.12 - Modelo de ficha para laudo de vistoria .....	84
Figura 3.13 - - Exemplo de carta de setorização de risco .....	91
Figura 3.14 - Detalhe de parte do mapa indicativo de risco de escorregamento .....	92
Figura 4.1 - Sonda rotativa.....	97
Figura 4.2 - Amostragem em blocos .....	99
Figura 4.3 - Apresentação de resultados de ensaios de cisalhamento direto drenado .....	100
Figura 4.4 - Curvas tensão-deformação de ensaios triaxiais drenados em solos arenosos .....	101
Figura 4.5 - Envoltória de Mohr-Coulomb em ensaios triaxiais.....	101
Figura 4.6 - Exemplo de programação de investigações (a) planta, (b) seção transversal .....	103
Figura 4.7 - Mapa do escorregamento do Soberbo de 1967 .....	104
Figura 4.8 - Perfil geotécnico estudado nas décadas de 70 e 80.....	105
Figura 4.9 - Perfil geotécnico da década de 90, após estudo detalhado da geologia estrutural .....	105
Figura 5.1 - Fases de projeto.....	106
Figura 5.2 - Fase de diagnóstico .....	106
Figura 5.3 - Fase de solução, taludes em solo, alternativas .....	107
Figura 5.4 - Escolha da solução para taludes em solo .....	108
Figura 5.5 - Transporte de equipamentos para locais de difícil acesso: transporte com helicóptero, mulas, teleférico e trabalhadores (Fotos GeoRio).....	109
Figura 5.6 - Escarpa rochosa em contato com talus (fotos GeoRio).....	110
Figura 5.7 - Alternativas de solução, taludes em rocha .....	111
Figura 5.8 - Taludes em rocha, solução de eliminação do problema.....	111
Figura 5.9 - Estabilização de taludes em rocha.....	112
Figura 5.10 - Taludes em rocha, convivência com o problema .....	113
Figura 6.1 - Escorregamento das Laranjeiras, 1967 (foto GeoRio).....	114
Figura 6.2 - Pluviômetros empregados pela GeoRio .....	116
Figura 6.3 - Piezômetro de tubo aberto.....	117
Figura 6.4 - Fases de instalação de um piezômetro de tubo aberto .....	117
Figura 6.5 - Indicador de nível d'água INA .....	118
Figura 6.6 - Exemplo de piezômetros elétricos de corda vibrante e unidade de leitura portátil.....	119
Figura 6.7 - Princípio de funcionamento do instrumento de corda vibrante.....	119
Figura 6.8 - Piezômetro elétrico de corda vibrante.....	121
Figura 6.9 - Proteção elétrica dos instrumentos de corda vibrante .....	121

Figura 6.10 - Fases de instalação de piezômetro elétrico .....	122
Figura 6.11 - Inclinômetro: torpedo, unidade de leitura automática, tubos de acesso .....	123
Figura 6.12 - Esquema de funcionamento do inclinômetro .....	123
Figura 6.13 - Fases de instalação do tubo de acesso .....	124
Figura 6.14 - Cálculo dos deslocamentos com o inclinômetro .....	125
Figura 6.15 - Resultados de leituras e deslocamentos com o inclinômetro .....	125
Figura 6.16 - Erros devido ao uso de macacos hidráulicos (Ortigão, 1997).....	126
Figura 6.17 - Células de carga de corda vibrante.....	126
Figura 6.18 - Exemplo de emprego de célula de carga de corda vibrante em ensaio de tração .....	126
Figura 6.19 - Ruptura em encosta Av Epitácio Pessoa, 1988 .....	127
Figura 6.20 - Rede de pluviômetros do Rio de Janeiro.....	128
Figura 6.21 - Sala de controle do Alerta-Rio .....	129
Figura 6.22 - Tela do computador do Alerta-Rio.....	129
Figura 6.23 - Critério atual (1999)de alarme de deslizamento adotado na GeoRio.....	130
Figura 6.24 - Alerta-Rio: exemplo de gráfico da chuva de 1 hora versus chuva acumulada de 4 dias .....	131
Figura 6.25 - Encosta do Itanhangá .....	132
Figura 6.26 - Seção transversal Encosta do Itanhangá.....	132
Figura 6.27 - Cliper Inclinômetro permanente.....	133
Figura 6.28 - Instalação do Cliper.....	133
Figura 6.29 - Instalação da instrumentação, Encosta do Itanhangá.....	134
Figura 6.30 - Esquema de transmissão de dados do Itanhangá.....	134
Figura 6.31 - Tela do programa gerenciador de dados, Encosta do Itanhangá.....	135
Figura 6.32 - Exemplo de tela com dados de piezômetros, Encosta do Itanhangá.....	135
Figura 6.33 - Resultados de poropressões e precipitação versus tempo, Encosta do Itanhangá.....	136
Figura 6.34 - Poropressões e precipitação, Estação 2, topo da Encosta do Itanhangá.....	137
Figura 6.35 - Poropressões versus tempo, Estação 2, topo da Encosta do Itanhangá.....	137
Figura 6.36 - Sistema de aquisição de dados de um canal.....	138

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quadro geral dos grupos de rochas e seus principais representantes ocorrentes nas encostas do Município do Rio de Janeiro .....	17
Tabela 2.2 - Principais litologias das encostas do Município do Rio de Janeiro e algumas características geológicas distintivas .....	18
Tabela 2.3 - Nomes de campo para rochas associadas a falhas, segundo a classificação da Série Cataclástica .....	28
Tabela 2.4 - Nomes de campo para rochas associadas a falhas segundo a classificação da Série Milonítica.....	31
Tabela 2.5 - Escala granulométrica.....	38
Tabela 2.6 - Perfil hipotético do solo.....	39
Tabela 2.7 - Esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados segundo a ISRM.....	41
Tabela 2.8 - Características gerais de um perfil de alteração.....	43
Tabela 2.9 - Perfil de intemperismo em kingizito da Av. Niemeyer .....	46
Tabela 2.10 - Variação do microfraturamento com a evolução do intemperismo .....	47
Tabela 2.11 - Parâmetros a serem investigados para reconhecimento do grau de alteração intempérica da matriz.....	48
Tabela 2.12 - Cadastro de testes da matriz para o reconhecimento e classificação dos estágios de alteração intempérica em rocha.....	49

Tabela 2.13 - Principais mudanças mineralógicas ocorridas com os gnaisses da Série Superior com o avanço do intemperismo. (Barroso et al, 1996) .....	50
Tabela 2.14 - Grau de resistência da matriz rochosa .....	53
Tabela 2.15 - Espaçamento de descontinuidades (ABGE, 1983) .....	55
Tabela 2.16 - Grau de fraturamento (IPT, 1984) .....	55
Tabela 2.17 - Comprimento da descontinuidade (L) ( Bieniawski, 1989).....	56
Tabela 2.18 - Abertura da descontinuidade (A) (Bieniawski, 1989). .....	57
Tabela 2.19 - Preenchimento (Bieniawski, 1989).....	57
Tabela 2.20 - Tipos de superfície e preenchimento de descontinuidades (IPT, 1984). .....	57
Tabela 2.21 - Condição de água na descontinuidade (Bieniawski, 1989). .....	58
Tabela 2.22 - Ensaios .....	58
Tabela 3.1 - Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).....	65
Tabela 3.2 - Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto-Filho, 1992).....	66
Tabela 3.3 - Agentes e causas dos escorregamentos (Guidicini e Nieble, 1984) .....	78
Tabela 3.4 - Fatores deflagradores dos movimentos de massa segundo Varnes (1978).....	78
Tabela 3.5 - Elementos significativos na descrição de um movimento de massa .....	81
Tabela 3.6 - Estilo do escorregamento .....	81
Tabela 3.7 - Classificação da velocidade de deslocamento .....	82
Tabela 3.8 - Estado de atividade do escorregamento.....	82
Tabela 4.1 - Normas ABNT de sondagem e amostragem.....	94
Tabela 4.2 - Recomendações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE.....	95
Tabela 4.3 - Ensaios de caracterização .....	100
Tabela 4.4 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos residuais de gnaisse .....	102
Tabela 5.1 - Resumo das soluções de estabilização .....	113



## Prólogo

---

O Manual Técnico de Encostas da GeoRio, publicado em 1999, sob a coordenação geral do Eng Hélio Brito, contou com uma equipe de especialistas geotécnicos.

**Editores:** Dr Alberto Ortigão (UFRJ) e Prof Dr Alberto Sayão (PUC-RJ).

<b>Volume</b>	<b>Título do capítulo</b>	<b>Autores</b>
1	Introdução	A Ortigão & A Sayão
	Rochas e solos	H Penha
	Movimentos de massa	H Penha
	Investigações geotécnicas	A Ortigão & H Brito
	Estabilidade de taludes em solos	A Sayão
	Estabilidade de taludes em rochas	A Ortigão & H Brito
	Escolha da solução	A Ortigão & H Brito
	Instrumentação	A Ortigão
2	Introdução	A Ortigão & A Sayão
	Drenagem e proteção superficial	D Gerscovitch
3	Introdução	A Ortigão & A Sayão
	Muros	A Sayão
	Reforço com geossintéticos	E M Palmeira
4	Introdução	A Ortigão & A Sayão
	Ancoragens e grampos	A Ortigão & H Brito
	Cortinas ancoradas	A Ortigão & H Brito
	Solo grampeado	A Ortigão & E M Palmeira
	Estabilização de taludes em rocha	A Ortigão & H Brito
	Concreto projetado	A Moraes & A Ortigão

# 1. Introdução

---

## **Apresentação**

Este manual é um guia de projeto e execução de estabilização de taludes no Rio de Janeiro. Contempla a identificação e investigação dos acidentes, a solução de projeto geotécnico e estrutural. Acompanham especificações para execução e desenhos típicos das diversas soluções de contenção.

O Manual foi concebido como um instrumento para o engenheiro experiente, reunindo em um só volume as técnicas mais usuais de estabilização. Não é um livro-texto, mas uma orientação sobre a boa prática de projeto e execução.

## **Organização do manual**

O texto do Manual de Investigações e Análises foi subdividido em vários capítulos, em que os três primeiros visam o *diagnóstico* do problema. Dentro deste tópico, o primeiro é dedicado aos *Solos e rochas do Rio de Janeiro* apresentando um sumário da geologia do Rio de Janeiro e seus arredores. A seguir trata-se dos *Movimentos de massa*, em que os tipos de deslizamento são classificados e identificados e das *Investigações geotécnicas*, bastante resumidas, onde se apresentam critérios de investigação, sem detalhar a metodologia. Ao final do capítulo acrescenta-se uma tabela com valores típicos de resultados de ensaios de resistência nos solos cariocas.



Figura 1.1 - Organização do texto

A seguir, dois capítulos discutem os métodos de análise de *Estabilidade de taludes em solos e em rochas*. O primeiro trata dos métodos mais tradicionais de análise, indicando algumas ferramentas computacionais. O segundo trata do que existe de mais atual sobre as rochas, tanto na descrição das discontinuidades e avaliação de parâmetros de resistência, quanto nas ferramentas computacionais usadas atualmente.

O capítulo seguinte, *Escolha da Solução*, aborda os diferentes métodos de estabilização de taludes, apresentando critérios para a escolha da solução mais adequada, seja somente a suavização do talude, ou abrangendo os mais diversos métodos de estabilização. O leitor é apresentado a um grande leque de soluções, desde as tradicionais ancoragens e cortinas ancoradas, passando por muros de gravidade de vários tipos, solo grampeado, solo reforçado com geossintéticos, técnicas de estabilização de taludes em rocha, drenagem e proteção superficial e finalmente instrumentação de taludes.

O capítulo final versa sobre a *Instrumentação de taludes* e apresenta tanto as técnicas mais tradicionais de observação de deslizamentos com inclinômetros, piezômetros e marcos superficiais, quanto os sistemas automáticos. São discutidos dois critérios de instrumentação de taludes sujeitos à instabilização por chuvas fortes: o critério de instrumentação de alarme por área e de taludes específicos. O primeiro caso corresponde ao sistema *Alerta-Rio*, aplicado no Rio de Janeiro, que inclui uma rede de pluviômetros automáticos e a previsão meteorológica via radar. O segundo, abrange o monitoramento automático de taludes com medição de deslocamentos e poropressões.

Vários anexos constam do final do texto. O primeiro contém as referências citadas, seguido das listas de normas ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, DNER Departamento Nacional de Estradas de Rodagem e ABGE Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

## Formato

O Manual contém uma grande quantidade de figuras, ábacos e fotos. Estas provêm dos arquivos da GeoRio, que existem graças à dedicação de mais de quarenta anos do fotógrafo Sr. Ary Maciel, e por cessão algumas empresas, como a Este Engenharia, Geoflex, Geokon e dos arquivos pessoais dos autores.

As empresas Este SA, Geotécnica SA, Belgo-Mineira Bekaert e Maccaferri colaboraram intensamente com a equipe do Manual: forneceram informações, fotos, elaboraram e revisaram textos, mas principalmente contribuíram com a sua experiência.

## Elaboração do Manual

O Manual de Encostas da GeoRio resultou de um contrato intitulado “*Elaboração de Manuais Técnicos de Projetos, Especificações e Execução para Obras de Estabilização*”, contrato 091/98, entre a GeoRio e a Insitutek Ltda, que contou com uma equipe de especialistas geotécnicos para elaboração.

A coordenação e editoração dos trabalhos foi realizada pelo Dr J A R Ortigão (UFRJ), assistido pelo Dr A Sayão (PUC-RJ).

- Os capítulos de *Geologia e Movimentos de Massa* foram elaborados pelo Dr H Penha (UFF),
- O Capítulo de *Drenagem e Proteção Superficial* pela Dr<sup>a</sup> Denise Gerscovich (Uerj);
- Os capítulos de Muros e Estabilidade de Taludes em Solo, pelo Dr A Sayão;
- O capítulo de *Geossintéticos*, Dr E M Palmeira (UnB).
- Os capítulos de *Investigações, Estabilidade de Taludes em Rocha, Cortinas, Solo Grampeado, Estabilização de Taludes em Rocha e Instrumentação* foram elaborados do Dr J A R Ortigão, assistido pelo professor Eng C J R d’Ávila, UFRJ, na eletrônica aplicada à instrumentação.
- O capítulo de *Dimensionamento Estrutural* foi elaborado pelo engenheiro J R Oliveira da Insitutek.
- O capítulo de *Concreto Projetado* foi elaborado pelo engenheiro A Moraes da Belgo Mineira-Bekaert e pelo Dr J A R Ortigão.
- O apoio técnico e editorial para elaboração do Manual foi coordenado pela Eng<sup>a</sup> Lúcia Alves.

<b>Equipe da GeoRio</b>	
A Fiscalização do contrato 091/98 entre a GeoRio e a Insitutek Ltda, intitulado “ <i>Elaboração de Manuais Técnicos de Projetos, Especificações e Execução para Obras de Estabilização</i> ”, foi exercida pela GeoRio que designou os engenheiros Helio G de Brito Filho e Marcio J M Machado.	
Coordenação	Eng Helio G de Brito Filho (Diretor da Diretoria DEP) e Eng Marcio Machado (Gerente de Obras)
Análise e revisão de textos	Eng Helio G de Brito Filho (Diretor da Diretoria DEP) Eng Marcio Machado (Gerente de Obras) Eng Luiz Otávio Vieira (Assessor da Diretoria) Eng Renato Gerardini de Oliveira (Gerente de Projetos) Geól. Ricardo D’Orsi (Gerente de Programas Especiais) Geól. Claudio Amaral (Gerente de Gologia) Eng R L Feijó
Elaboração e revisão de desenhos	Eng Luiz Otávio Vieira (Assessor da Diretoria) Eng Renato Gerardini de Oliveira (Gerente de Projetos) Eng <sup>a</sup> Aidê Carramão Eng <sup>a</sup> Helena Quaresma Eng <sup>a</sup> Eclair Cardoso Eng Geraldo Baptista (Diretor de Estruturas) Eng Marcus Bergman
Revisão das especificações	Eng Sergio Correa (Diretor da Diretoria de Obras) Eng Aldo Rosa (Diretor da Diretoria de Fiscalização e Licenciamento) Eng Helio G de Brito Filho (Diretor da Diretoria DEP) Eng Marcio Machado (Gerente de Obras) Eng Andre Merlino Eng Fábio Lessa (Gerente de Obras) Eng A Carlos Guedes
Cálculo de custos comparativos entre	Eng Fábio Lessa (Gerente de Obras) Eng Andre Merlino



## 2. ROCHAS E SOLOS DO RIO DE JANEIRO

---

H Penha

### Introdução

O conhecimento das Rochas e Solos do Rio de Janeiro tem grande importância na análise dos processos de deslizamento de taludes. O substrato rochoso das encostas do Rio de Janeiro é formado fundamentalmente por rochas metamórficas de alto grau, gnaisses e migmatitos e, ígneas intrusivas graníticas que normalmente cortam as anteriores. Este contexto geológico apresenta grande complexidade estrutural e de difícil relacionamento estratigráfico. Suas idades são Pré-Cambrianas, isto é, superiores a 570 Ma, embora alguns granitos apresentem idades um pouco mais jovens. Todo o conjunto é atravessado por ígneas mais recentes, na forma de diques básicos (diabásios) ou alcalinos (tinguaítos, traquitos e fonolitos), estes associados ao grande corpo ígneo sienítico do Maciço Mendanha-Gericinó e de idade Cretácea (65 Ma).

Os três maciços montanhosos encontrados no Município do Rio de Janeiro - Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha - são constituídos por rochas gnáissicas, graníticas e alcalinas. O conjunto gnáissico tem suas melhores exposições no Maciço da Tijuca e em áreas a ele periféricas da Planície Litorânea e colinas relacionadas, com grande densidade populacional. Apresenta litologias diversificadas, de composição mineralógica variável e com diferentes tipos de deformação geológica. Os materiais de alteração e de coberturas relacionadas também apresentam expressiva variabilidade, decorrente da estruturação geológica, do relevo e do clima.

Nos itens que se seguem são relacionados aspectos relevantes de natureza geológica e geotécnica que, em seu conjunto, formam uma documentação básica orientativa para os profissionais de Geologia e de Engenharia.

### Litologias

As principais litologias ocorrentes no Município do Rio de Janeiro constam do Mapa Geológico do Estado da Guanabara (Helmbold *et al*, 1965) em escala 1:50.000. Neste trabalho, é apresentada uma divisão sistemática das rochas metamórficas da cidade: Uma *Série Inferior*, mais antiga, caracterizada por gnaisses graníticos a quartzo-dioríticos e migmatitos e, uma *Série Superior*, de gnaisses principalmente aluminosos, mais jovens. Tal trabalho constitui a base do conhecimento ao nível de

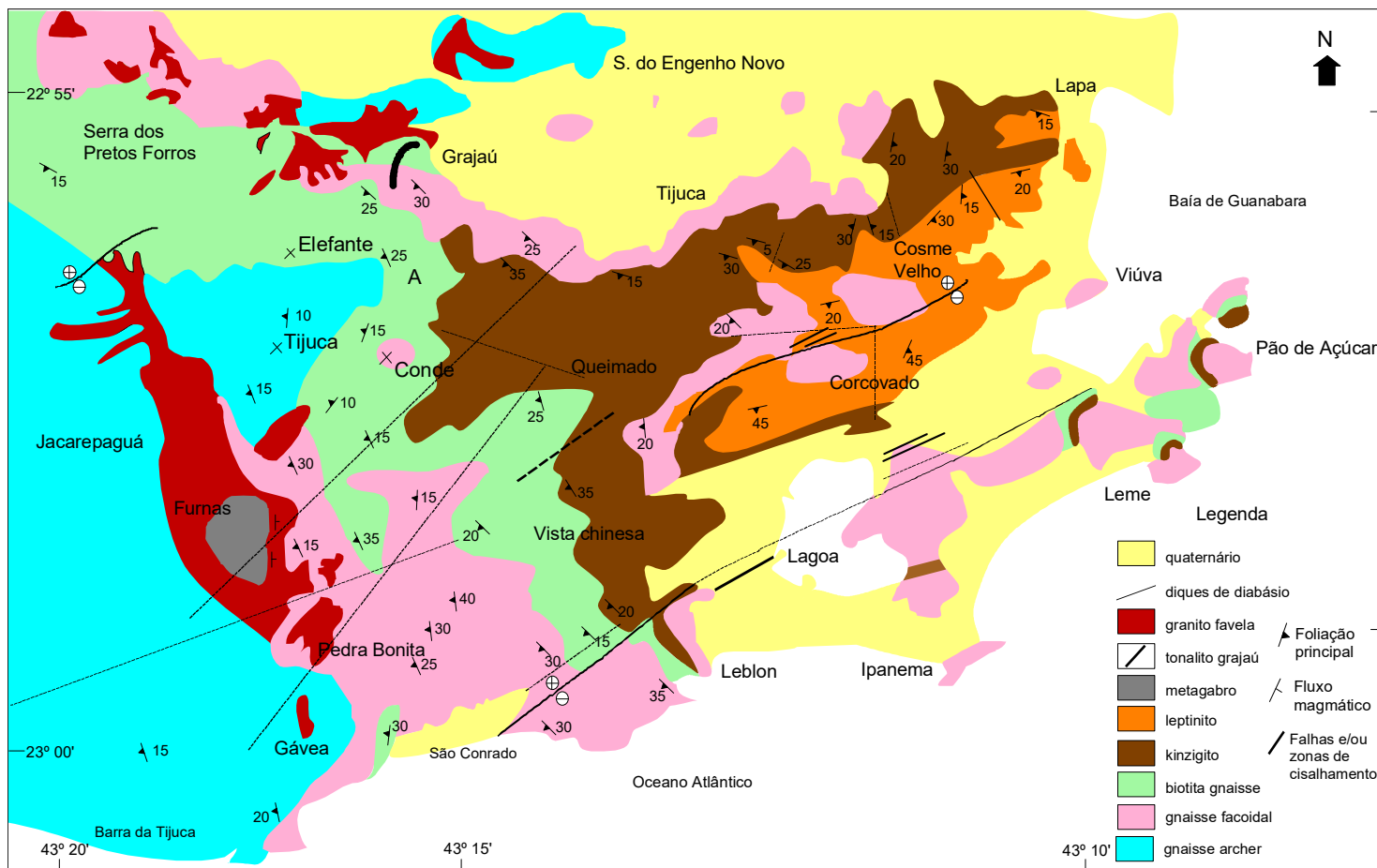
semi-detalhe da Geologia do Município e, ao lado de outros mais recentes e com objetivos específicos, distinguem as litologias referenciadas no Manual.

Série Inferior - Constituída por gnaisses granodioríticos a quartzo-dioríticos, com estrutura complexa e xistosidade mal definida. Associam-se a migmatitos, freqüentemente estromáticos e gnaisses finos bandados.

Esses gnaisses são grossos, equigranulares geralmente mesocráticos, de composição granítica a quartzo-diorítica, constituídos de quartzo, microclina, ortoclásio, plagioclásio, biotita e hornblenda, sendo abundante a titanita e ausente a granada. O conjunto é cortado por diques básicos, aplíticos e pegmatíticos, deformados e metamorfizados.

Tais litotipos associados a corpos migmáticos intermediários e máficos, gnaissificados, aparecem nas zonas norte e oeste da cidade e nas ilhas do Governador e Fundão.

Série Superior - É a que aglutina a maior parte dos gnaisses das encostas do Rio de Janeiro e, em particular, do Maciço da Tijuca. Leptinitos, plagioclásio-gnaisses, microclina-gnaisses ou gnaiss facoidal, biotita-gnaisses e kinzigitos, constituem seus principais representantes (Figura 1).



Com base em Pires & Heilbron, 1984-1992 e Helmbold, R., 1965

Figura 2.1 - Mapa geológico do maciço da Tijuca

As rochas da Série Superior são as que apresentam maiores variações tanto composicionais como texturais e estruturais. Esta variabilidade é considerada no comportamento geomecânico das massas rochosas, bem como nos solos residuais, delas derivados. Tais litologias são associadas à estruturação geológica do Maciço da Tijuca, e influenciam significativamente em sua morfologia, evolução de suas encostas e nos processos geodinâmicos de risco, quando comparado com os demais maciços do Município.

Apresentam-se a seguir, as principais litologias do Município com suas características essenciais (Tabela 2.1 e Tabela 2.2).

**Tabela 2.1 - Quadro geral dos grupos de rochas e seus principais representantes ocorrentes nas encostas do Município do Rio de Janeiro**

Grupo genérico			Metamórficas/tectonitos	Ígneas			Formações Superficiais	
Estrutura usual			Folheada	Maciça				
Composição			Quartzo, feldspato, micas, minerais escuros aciculares		Minerais claros dominantes (quartzo, feldspato, mica e muscovita)	Minerais escuros dominantes (ferromagnesianos)	(inconsolidadas)	
GRANULÃO	50 mm	muito grosseiro			ácida	intermediária	básica	tálus e colúvios
					Pegmatito			
		grosso a médio	gnaisse (orto-para) camadas alternadas de minerais granulares e lamelares	quartzito	granito	sienito	gabro	
	1 mm			anfíbólito		sienito Nefelínico		
	0,1 mm	fino	migmatito milonito	cataclasito	microgranito	tinguaito	diabásio	
	muito fino				traquito fonólito	basalto		

**Tabela 2.2 - Principais litologias das encostas do Município do Rio de Janeiro e algumas características geológicas distintas**

Litotipos	Grupo Genético	Cor	Granulometria	Textura	Estrutura/Trama	Petrografia	Mineralogia	Acessórios/Resistatos	Material de Alteração	Deformações Dúcteis e Rúpteis mais Representativas	Feições Morfológicas Típicas
Migmatitos	migmática	cinza	média	variável	migmatítica	variável	quartzo, k-feldspato, plagioclásio, biotita, augita	variável	argilas, resistatos	dobras	blocos
Gnaiss Anfibolítico	metamórfica	cinza escuro	finha	granonematoblástica	foliação metamórfica	anfíbólito	anfíbólio, plagioclásio	magnetita, titanita	argilas, limonita	dobras	blocos
Metagabro	ígnea/metamórfica	preta	média/grossa	panidiomórfica granular	maciça	gabro (levemente metamorfizado)	clinopiroxênio, plagioclásio, anfíbólio, biotita	titanita, magnetita, ilmenita, pirita	argilas, limonita, resistatos	falhas, Juntas	núcleos rochosos, Campos de Matação
Gnaiss Archer (PG gnaiss)	metamórfica	cinza escuro	média/grossa	semi-porfiroblástica	gnáissica a migmática	plagioclásio gnaiss	quartzo, k-feldspato, biotita, anfíbólio	allanita, zircão, opacos	argilas, resistatos	dobras, falhas, juntas	blocos
Leptinito	metamórfica	cinza claro	média/fina	granolepidoblástica	foliação gnáissica	gnaiss quartzo feldspático	quartzo, k-feldspato,	apatita, ilmenita,	argilas, resistatos (quartzo)	dobras, falhas, juntas	blocos, lascas



							plagioclásio, granada, biotita	magnetita, zircão			
Biotita- Gnaisse	metamórfica	tons de cinza	média/ fina	granolepid oblástica	xistosidade e foliação gnáissica	biotita gnaisse	k-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, granada	granada	argilas	dobras, falhas, juntas	Blocos, lascas
Quartzito	metamórfica	branca	média/ fina	granoblástica	maciça/foliada	quartzito	quartzo, k- feldspato	monazita	resistatos (quartzo)	falhas, juntas	blocos, lascas
Kinzigitto	metamórfica	cinza rosado	média/ grossa	granoporfir oblástica	foliação gnáissica	gnaisse aluminoso	granada, sillimanita, cordierita, quartzo, k- feldspato, plagioclásio, biotita	sillimanita, cordierita	argilas, resistatos	dobras, falhas, juntas	blocos, lascas
Gnaissel Facoidal	metamórfica	cinza rosado	média/ grossa	porfiroblástica	foliação gnáissica e/ou milonítica	granitóide gnaissificado	k-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, granada	magnetita, zircão	argilas, resistatos (quartzo)	dobras, falhas, cisalhamentos	pirâmides rochosas, blocos
Granodiorito Pedra Branca	ígnea	cinza	média	hipidiomórfica granular	maciça/orientação de fluxo	granodiorito	quartzo, plagioclásio, biotita, anfibólio	titanita, ilmenita, magnetita, pirita	argilas, resistatos	falhas, juntas	blocos, torres, lascas
Granitóide Grajaú (dique)	ígnea	cinza	média/ fina	equigranular	foliação metamórfica	tonalito	quartzo, plagioclásio, biotita, anfibólio	titanita	argilas, resistatos	juntas	blocos

Granito Utinga (dique)	ígnea/migmática	branco rosado	grossa/pegmatóide	porfirítica	migmática, algo foliado	granito	quartzo, k-feldspato, biotita	opacos	argilas, resistatos	juntas	Blocos
Granito Favela (dique)	ígnea	cinza	média	hipidiomórfica inequigranular	maciça ou com orientação de fluxo	biotita granito	quartzo, k-feldspato, biotita	allanita, apatita, zircão, magnetita	argilas, resistatos	falhas, juntas	torres, campos de matacão, cornijas
Granito Rosa (dique)	ígnea	cinza rosado	fina	hipidiomórfica granular	maciça	leucogranito	quartzo, k-feldspato, biotita, plagioclásio	allanita, zircão, apatita	argilas, resistatos	juntas	blocos
Diabásio (dique)	ígnea	preta	média/fina	ofítica	maciça, microcristalina	diabásio	plagioclásio, piroxênio, anfibólio	pirita, magnetita	argilas, limonita	falhas., juntas	campos de blocos esfoliados
Sienito Nefelínico	ígnea	cinza claro	média	hipidiomórfica inequigranular	maciça	sienito nefelínico ou foiaito	feldspato, nefelina, piroxênio	titanita, apatita, zircão	argilas, resistatos	falhas, juntas	blocos
Traquitó (dique)	ígnea	cinza claro rosado	fina	traquítica	maciça, microcristalina	traquito	feldspato, biotita, piroxênio, anfibólio	titanita, apatita	argilas	juntas	blocos
Fonolito (dique)	ígnea	cinza escuro esverdeado	fina	microcristalina porfirítica	maciça, microcristalina	fonolito	k-feldspato, piroxênio, nefelina	apatita, zircão	argilas	juntas	campos de blocos esfoliados

## Litotipos gnáissicos

Leptinitos - São gnaisses quartzo-feldspáticos, leucocráticos, localmente bandados, laminados, com granulação fina, e de coloração amarelada a cinza clara. Petrograficamente é constituído por feldspato, quartzo e com granada e biotita subordinadas. Apatita, zircão, ilmenita e magnetita, são minerais acessórios. Bancos métricos de quartzito e variação na proporção de biotita, definem o bandamento composicional, sendo a foliação metamórfica principal dada pela biotita.

Ocorrem principalmente na encosta meridional da Serra da Carioca, desde Santa Teresa até além do Corcovado.

Plagioclásio Gnaisse - Equivalente ao Gnaisse Archer, é uma rocha escura acinzentada, granulação média a grossa, apresentando textura semifacoidal dada por cristais lenticulares de feldspato. É constituído por quartzo, feldspato, biotita e localmente hornblenda. Allanita, zircão e opacos, são acessórios. O bandamento metamórfico é destacado, principalmente nos tipos ricos em biotita, interdigitados com material granítico rico em feldspato. Faixas porfiroblásticas (com cristais centimétricos de feldspato), são encontradas próximas aos contatos com o gnaisse facoidal. Também ocorrem embutidos nestes gnaisses porções e lentes métricas de rochas básicas (rochas dioríticas e gabróicas), xistosas, transformadas parcialmente em gnaisses básicos e biotíticos com restos de anfibólio, devido ao metamorfismo e, charno-enderbitos.

Estes gnaisses afloram em bairros da zona norte do Rio, como no Méier, Serra do Engenho Novo, Inhaúma, Morro dos Telégrafos, parte de Jacarepaguá e, na Floresta da Tijuca, no Morro do Archer, Serrinha e Joá.

Gnaisse Facoidal - Rocha leucocrática de cor rosada a cinza clara, de granulação grosseira, porfiroblástica ou porfiroclástica, apresentando grandes lentes ou “olhos” de feldspato creme ou róseo (geralmente de microclina), às vezes bem orientados, e que se destacam entre camadas de biotita. Pelo caráter porfiroblástico dos feldspatos centimétricos contornados por uma massa granoblástica fina, este gnaisse também é denominado “augen-gnaisse” Sua foliação é dada pelos filmes de biotita que contornam os grandes cristais de feldspato. Subordinadamente, apresenta uma variedade granuloblástica grosseira.

Petrograficamente trata-se de um microclina-oligoclásio/andesina-quartzo-biotita-gnaisse com granada subordinada, apresentando textura principalmente porfiroblástica (ou facoidal), com lentes de biotita-gnaisses, leptinitos, kinzigitos, metabasitos e manchas esverdeadas charnoquíticas. Faz contatos aparentemente gradacionais com leptinitos e com o biotita gnaisse. Em alguns pontos apresenta contatos bruscos com aqueles gnaisses, aparentando intrusão ígnea.

Quando milonitizado, os feldspatos apresentam diferentes estágios de estiramento, comportando-se como porfiroclastos feldspáticos. Estas feições estruturais, representadas pelos milonitos, associam-se principalmente à Zona de Cisalhamento Dúctil Niterói, de direção nordeste e que se estende por dezenas de quilômetros através dos Municípios do Rio de Janeiro e de Niterói.

Apresenta idade em torno de 620 Ma.

Kinzigito - Tem suas melhores ocorrências no flanco oriental do Maciço da Tijuca, particularmente na Serra da Carioca. Trata-se de um gnaisse leuco a mesocrático, de cor rosada, granulação grosseira com porfiroblastos de até 2 cm de granada do tipo almandina, mais raramente de cordierita, e com quantidades variáveis de quartzo, feldspato, biotita e sillimanita .

A foliação é bem desenvolvida e localmente pode conter lentes e/ou camadas (cm a m) de rochas calciossilicáticas, leptinitos e quartzitos. Se distingue das demais litologias pela expressiva presença de aluminossilicatos, tais como, granada, cordierita e sillimanita. Associa-se com o Biotita Gnaisse para o qual passa de forma gradativa.

**Biotita Gnaiss** – Rocha com estrutura gnaissica típica, com textura granolepidoblástica a lepidoblástica, granulação fina a média, cor variando de cinza claro a cinza escuro, às vezes granatífero e com diversas intercalações centimétricas a métricas de quartzito puro ou feldspático, de espessura variável, como observadas na escarpa norte do Maciço da Tijuca. Em alguns pontos esse gnaiss exibe feições migmáticas e estruturas deformacionais, dobramento, bem características que o distingue dos demais. Quando quartzítico, é um gnaiss bem laminado que ocorre em pequenas extensões, podendo ser observada a sua presença no Alto da Boa Vista, em domínio do Biotita Gnaiss e também sob a forma de camadas quartzosas no Leblon.

O conjunto Kinzigito-Biotita Gnaiss apresenta-se na Serra da Tijuca ao longo de uma faixa de direção aproximada NW-SE, embora um prolongamento do gnaiss kinzigítico de direção ENE-WSW alcança a Serra da Carioca onde faz contatos com o Gnaiss Facoidal e com o Leptinito .

De um modo geral os gnaisses do Rio de Janeiro apresentam idades em torno de 600 Ma.

## Minerais das rochas metamórficas do Rio de Janeiro

Além do quartzo, dos feldspatos e das micas, comuns tanto nas rochas ígneas como nas metamórficas, ocorrem alguns minerais característicos do processo metamórfico e constituídos principalmente por aluminossilicatos. São eles:

**Granada** - Um grupo de minerais aluminosos de composição variada. Nos gnaisses do Rio de Janeiro, é muito comum a presença da variedade almandina, de coloração avermelhada, na forma de cristais perfeitos ou massas granulares. A composição da almandina é  $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ .

**Sillimanita** - É um aluminossilicato, de composição  $Al_2SiO_5$  com algum Fe na estrutura substituindo o Al. É um mineral claro, branco a amarelado, em cristais prismáticos a aciculares, ocorrente em alguns paragneisses do Rio de Janeiro, como o Kinzigito.

**Cordierita** - É um aluminossilicato contendo Fe e Mg na estrutura com composição  $Al_3(Mg,Fe)_2[Si_5AlO_{18}]$  de coloração cinza-azulada. Ocorre nos kinzigitos do Rio de Janeiro junto com a sillimanita e a almandina.

**Clorita** - Silicato de Fe, Mg e Al, hidratado de cor esverdeada a verde escura, similar às micas com boa clivagem lamelar, mas não elástica. Ocorre em faixas hidrotermalizadas, em zonas fraturadas de granitos, como mineral de alteração hidrotermal, e também em faixas cataclásticas em rochas graníticas e gnaissicas como produto de alteração de minerais ferromagnesianos. Também é mineral comumente encontrado em rochas metamórficas de baixo a médio grau.

Os termos mineral essencial e mineral acessório não são usuais para as rochas metamórficas.

## Litotipos ígneos

**Metagabro da Tijuca** - Conhecido comercialmente como Granito Preto da Tijuca, aflora na Floresta da Tijuca, particularmente nas adjacências da estrada do Soberbo, onde apresenta suas maiores exposições e, geologicamente, está em grande parte englobado pelo Granito Favela que por sua vez se encaixa entre o gnaiss Archer e o Facoidal.

É uma rocha ígnea, de composição gabroica a diorítica, levemente metamorfisada, mesocrática, maciça ou com ligeira foliação, inequigranular, de granulometria variando de média a grossa, cor preta, composta por placas maiores de biotita em matriz de plagioclásio, piroxênios, anfíbolios, epidoto e opacos. De acordo com Amaral e Porto Jr. (1989), na região do Soberbo, o corpo do Metagabro forma um corpo com cerca de 1,5 km de diâmetro, envolvido, com exceção da faixa sudoeste, pelo Granito Favela que configura um anel bastante irregular com largura de cerca de 200

m. As encaixantes na região são representadas pelo Gnaiss Facoidal, a E e SE, e pelo Gnaiss Archer.

O conjunto é cortado por diques de diabásio, subverticais e orientados na direção preferencial N45-50E e N70E, e também por raros pegmatitos.

A alteração do Metagabro apresenta uma forma peculiar, principalmente com blocos arredondados de rocha fresca ou levemente alterada, circundada por uma massa de solo areno siltoso, dando um falso aspecto de depósito coluvionar ou tálus. Verifica-se também que o sistema de fraturas do Metagabro é perfeitamente preservado no saprólito relacionado.

Granodiorito Pedra Branca – Apresenta ampla ocorrência no Município do Rio de Janeiro, situado entre as planícies de Bangú, Campo Grande e Jacarepaguá, estando a ele associadas as serras do Nogueira, Quilombo, Barata, Bangú e da Pedra Branca propriamente dita.

Trata-se de um corpo ígneo intrusivo de composição granodiorítica nas porções mais internas, gradando lateralmente em direção as bordas (Norte e Sul) a tipos mais ácidos representados por um granito megaporfírico que apresenta estrutura de fluxo magmático, bandamento ígneo e camadas de xenólitos máficos .

Próximo aos gnaisses, é um granito porfírico, com fenocristais de feldspato potássico de até 10 cm de comprimento, apresentando estrutura planar e linear (fluxo magmático) e notável bandamento magmático representado por níveis de distintas granulometrias, aleitamento mineralógico e raros enxames de enclaves microgranulares alinhados ao fluxo, como pode ser observado na pedreira da Ibrata em Vargem Pequena, Jacarepaguá.

Uma de suas características é a presença de feições migmáticas de intrusionamento, particularmente na sua borda sul, na região da Prainha-Grumari. Deslocamentos através de juntas de descompressão, que dão a massa rochosa uma aparente estratificação, são comuns, além de extensos campos de matacões. Estas rochas granitóides são por sua vez atravessadas por diques de granito com tendência porfírica, rico em allanita e por diabásios.

É apresentada uma idade de 537 Ma (Rb/Sr) para essas rochas.

Tonalito Grajaú - Forma diques e apófises discordantes aos contatos entre os gnaisses, também como xenólitos dentro do Granito Favela. Trata-se de uma rocha leuco a mesocrática, grão fino a médio, foliada e constituída de quartzo, plagioclásio, anfibólio e titanita com textura mosqueada dada por estes três últimos minerais.

Granito Utinga - Ocorre como corpos irregulares, em pequenas ocorrências ou na forma de injeções concordantes a sub-condordantes com o Gnaiss Archer. Possui composição granítica, granulação grossa com variedades pegmatóides, destacando-se grandes cristais de feldspato, coloração branca-rosada, às vezes apresentando aspecto migmático com concentrações estiradas de biotita e foliação ajustada com as rochas encaixantes. Os corpos mais expressivos ocorrem no flanco oeste do Maciço da Tijuca, na vertente do bairro de Jacarepaguá, na Serra do Alemão, no Complexo do Caricó e na Serra da Misericórdia. Pequenas lentes deste granitóide, são encontradas embutidas no gnaiss facoidal nas proximidades da Estrada Grajaú-Jacarepaguá.

Granito Favela - Ocorre preferencialmente no setor norte-nordeste do Maciço da Tijuca, Serra dos Pretos Forros e do Engenho Novo, na forma de diques, corpos tabulares que geram cimeiras resistentes ao intemperismo no topo dos morros ou pequenas intrusões (Floresta da Tijuca). Trata-se de um granito meso a leucocrático, estrutura maciça, homogêneo, inequigranular, ocorrendo em diques (principalmente), muitas vezes potentes com espessura de vários metros, núcleos e lentes subhorizontais, em contatos bruscos com as encaixantes. Apresenta-se com dois fácies texturais: um equigranular com granulação média a fina; outro, porfírico, com fenocristais de microclina. Há presença de mantos de concentrações de máficos. A análise petrográfica indica um biotita granito com allanita, zircão, magnetita e apatita como principais acessórios.



Estruturas de fluxo magmático são observáveis nos corpos maiores, e representadas pela orientação preferencial de fenocristais de feldspato potássico, xenólitos alongados e aglomerados de biotita. Este granito é correlacionado, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro, ao Granito Andorinha.

O Granito Favela normalmente se apresenta na forma de diques de espessura variável, de baixo ângulo de mergulho e, quando aflorando em áreas montanhosas intrudido em gnaisses, tende, por intemperismo diferencial, a se destacar das litologias encaixantes. Bem diaclasados nas elevações, podem ocasionar a queda de blocos, e, nas encostas, produz extensos campos de matações arredondados ou facetados muitas vezes oferecendo perigo potencial aos moradores à jusante.

Na paisagem montanhosa, como outros granitos, tende também a formar “tors” ou torres, caracteristicamente associadas com granitos bem diaclasados. Estas feições compõem-se de um amontoado de blocos bem delimitados por diáclases, empilhados uns sobre os outros em suas posições originais, sobressaindo-se abruptamente de uma vertente ou de um topo relativamente plano. Exemplos destas feições de morfologia granítica podem ser vistos nas serras de Bangú e Barata na zona oeste da cidade.

São apresentadas idades em torno de 490 M.a. para este granito.

Granito Rosa - Ocorre em diques pouco espessos, geralmente verticalizados, ou em pequenos corpos (com diâmetro métrico). Apresenta-se homogêneo, com granulometria fina, sem estruturas de fluxo ou bandeamento magmático e corta o Granito Favela. É constituído por feldspato, quartzo, biotita, allanita, zircão e apatita.

Allanita Granito - Trata-se de um granito de granulometria grossa, com textura pegmatóide, inhomogêneo, ocorrendo em diques e bossas irregulares. Apresenta megacristais de feldspato rosados (até 15 cm), e de allanita (até 10 cm de comprimento, com bordos metamictos). A muscovita é secundária. Ele corta todas as outras rochas graníticas ocorrentes no Município.

Diabásio - Ocorre na forma de diques de espessuras variadas, de centímetros a vários metros que podem se estender por dezenas de quilômetros. Trata-se de rocha melanocrática, de cor preta, de granulação normalmente fina, textura ofítica, raramente porfirítica. Em diques de grande espessura, pode possuir uma granulação grosseira confundindo-se com o gabro, do qual é representante extrusivo. Mineralogicamente são basicamente formados de plagioclásios, anfíbólios e piroxênios, onde bastonetes de plagioclásio conferem a rocha a textura ofítica.

Como tem idade Mesozóica cortam, na forma de diques, todas as rochas cristalinas do Município, granitos e gnaisses, a exceção das alcalinas que são mais jovens. Apresentam direções preferenciais N40-50E e se encaixam em fraturas e/ou falhas geralmente regionais. Morfologicamente, no Rio de Janeiro, os diques de diabásio, tendem a formar relevos baixos, retilíneos onde se encaixa a drenagem, como por exemplo o Rio da Cachoeira/Rio Maracanã no Maciço da Tijuca.

Tais rochas apresentam idades em torno de 130 Ma.

Sienito Nefelínico ou Foiaito - Ocorre ao norte do Município, na Serra de Madureira ou Mendanha-Gericinó e no Morro do Marapicu. É uma rocha alcalina plutônica, leucocrática, cinza clara, de granulação grossa, homogênea e composta de uma massa de feldspatos alcalinos, nefelina e cristais escuros de piroxênio sódico (aegirina). O aspecto lembra o granito do qual difere por não conter quartzo.

Fonolito - É a variedade extrusiva do nefelina sienito e aparece na região, formando pequenos derrames ou diques cortando os gnaisses e granitos adjacentes e ao próprio foiaito. É uma rocha de granulação fina, cor cinza-esverdeada, maciça, que por ter uma estrutura microcristalina se mostra muito resistente à decomposição. Esta rocha produz um som semelhante ao do sino, quando golpeada pelo martelo.

**Traquito** - é o representante extrusivo do sienito e também aparece em diques que cortam os gnaisses, granitos e sienitos. É uma rocha leucocrática, cinza clara a rosada, onde ripas de feldspato aparecem destacadas e orientadas numa matriz afanítica cinzenta.

Os diques, tanto fonolíticos como traquíticos, embora ocorrentes em diferentes pontos do Município, tornam-se mais freqüentes na sua porção mais ao norte, nas imediações do Maciço Gericinó-Mendanha, onde comumente se apresentam dispostos na direção NE-SW.

Tais rochas alcalinas apresentam idades Meso-Cenozóicas, em torno de 65 Ma.

Exemplos das litologias mais representativas citadas, encontram-se no Anexo 1.

## Minerais das rochas ígneas do Rio de Janeiro

### Minerais Essenciais:

Auxiliam na classificação e são principalmente representados pelo quartzo,  $\text{SiO}_2$ , isto é, sílica pura e os feldspatos que formam o grupo mais importante como constituintes das rochas. Estes são composicionalmente e cristalograficamente distinguidos em feldspatos potássicos ou k-feldspatos, representados pelo ortoclásio e pela microclina, e pelos plagioclásios.

### Minerais claros:

- Quartzo

- Feldspatos

a) K-feldspatos, genericamente denominados alcalinos, apresentam a composição  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  e são cristalograficamente subdivididos em ortoclásio, com o sistema de cristalização monoclinico e microclina com o sistema triclinico. São minerais geralmente brancos, embora a microclina tende a ter uma cor rósea, ou “cor de carne”, num linguajar mais rotineiro. Alteram-se intempéricamente em caulinita.

b) Plagioclásios, que formam uma série segundo a variação de sódio relativo ao cálcio nos minerais. O extremo sódico da série é representado pela albita ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) e o do cálcio pela anortita ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) que podem misturar-se em proporções variáveis. Apresentam normalmente a cor branca ou acinzentada e se cristalizam no sistema triclinico.

### Minerais escuros ou ferromagnesianos:

*Olivina* - Também chamado peridotito tem a composição  $(\text{Mg,Fe})_2 \cdot \text{SiO}_4$ , sendo comum nas rochas ultrabásicas, cujo representante é o peridotito.

*Piroxênios* - Possuem uma composição variável. São silicatos de Mg, Fe, Ca, com ou sem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Normalmente aparece em cristais prismáticos e em rochas magmáticas principalmente nas escuras, como o Diorito e o Gabro. A augita é um dos piroxênios mais comuns. Produz óxido de ferro por alteração.

*Anfibólíolos* - São quimicamente muito parecidos com os piroxênios, mas possuem (OH) na sua constituição. Ocorrem na forma de prisma e agulhas em rochas ígneas e também em algumas metamórficas. O anfibólíolo mais comum é a hornblenda. Sua alteração intempérica produz argilominerais e óxido de ferro.

*Micas* - É um grupo de vários minerais. Distinguem-se duas variedades principais:

*Biotita ou Mica Preta* - é a mais comum e frequentemente encontrada nos granitos e em muitos gnaisses. É um silicato complexo, contendo K, Mg, Fe e Al, com ótima clivagem laminar e boa plasticidade. Altera-se em clorita, argilominerais e óxido de ferro.

*Muscovita ou Mica Branca* - é menos comum, ocorrendo principalmente em alguns granitos, em pegmatitos, em micaxistos e alguns gnaisses. É um silicato de composição  $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Em placas grandes, são usadas na indústria como isolantes. Por intemperismo pode se alterar em caulinita e gibsitita.

#### **Minerais Acessórios:**

São muitos os minerais que ocorrem minoritariamente nas rochas ígneas e por isso são considerados acessórios. Entre eles se destacam:

Nas rochas graníticas ou ácidas: zircão, esfero ou titanita, apatita, allanita, monazita, ilmenita e magnetita.

Nas rochas básicas, tais como gabros e diabásios: magnetita, ilmenita, pirita e calcopirita.

#### **Minerais Resistatos:**

São aqueles resistentes ao ataque químico do intemperismo químico, e aparecem individualizados mineralogicamente nos solos e sedimentos, enriquecendo-os. O principal é o quartzo, seguido do feldspato e da mica. Entre os acessórios, destacam-se a ilmenita, a magnetita, a monazita, o zircão e o rutilo.

## **Estruturas Geológicas**

As estruturas geológicas constituem a disposição espacial das rochas ou porções das rochas e suas relações. Tais estudos são tratados pela Geologia Estrutural.

As estruturas geológicas podem ser originadas por forças tectônicas, que atuam no interior da terra, ou por forças atectônicas, que atuam na superfície e principalmente associadas a forças gravitacionais. É importante a compreensão não apenas das feições estruturais, mas também dos processos deformacionais envolvidos, para o real entendimento de sua geometria e variabilidade no maciço rochoso.

As estruturas tectônicas são aquelas geradas tanto em estado de fluxo plástico quanto em estado rígido, dependendo das condições de deformação. As estruturas geradas por deformação dúctil são representadas principalmente por dobras, zonas de cisalhamento dúctil, foliações e lineações. As estruturas geradas por deformação rúptil são representadas pelas falhas e juntas.

As estruturas atectônicas aqui interessadas, são aquelas feições que se desenvolvem nas rochas próximas ou na superfície terrestre em áreas restritas e que são formadas principalmente por perda da pressão litostática ou de confinamento. São representadas basicamente pelas juntas de alívio ou de descompressão.

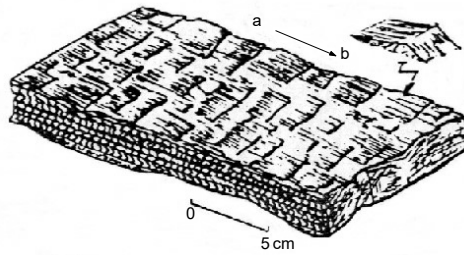
## **Estruturas tectônicas**

### **Falhas**

São fraturas (descontinuidades), nas quais ocorre um deslocamento perceptível das partes, o que se dá ao longo do plano de fratura. Ao se movimentarem os blocos separados atiram um contra o outro, às vezes produzindo fragmentação e pulverização das rochas. Tais deslocamentos podem ser milimétricos, centimétricos, decamétricos e até quilométricos. As falhas como as fraturas em geral, representam importantes descontinuidades tanto em termos mecânicos como hidráulicos. Representam caminhos preferenciais de alteração e afetam diretamente a dinâmica hidrológica dos fluxos subterrâneos nas encostas.

**Elementos da Falha:**

Plano da Falha - É a superfície segundo a qual se dá o deslocamento. Muitas vezes o atrito causado pelo movimento produz uma superfície lisa, podendo ter um brilho bem nítido graças ao polimento produzido pela fricção. Denomina-se neste caso espelho de falha ou *slickensides*, que além do polimento mostra com frequência estrias ou caneluras. Além destas características, o espelho de falha pode apresentar ressaltos ou rugosidades (nem sempre existentes) (Figura 2).



**Figura 2.2 - Plano de falha com estrias. Infere-se o sentido do movimento (seta ab) com base nos ressaltos na superfície estriada**

As estrias conjugadas com a rugosidade escalonada, indicam direção e sentido do movimento da falha. Às vezes, e com muita frequência nos planos de falhas no Rio de Janeiro, estas estrias podem cruzar-se, indicando movimentos sucessivos com diferentes idades e direções. Assim, graças à estriação pode-se conhecer a direção do movimento da falha e com a rugosidade o sentido da movimentação já que a face abrupta do ressalto volta-se para o sentido da movimentação do bloco oposto.

Nem sempre o plano de falha é um único plano. É comum ocorrerem largas faixas podendo ter dezenas ou centenas de metros de largura, onde se situam os inúmeros planos da falha descontínuos dispostos paralelamente uns dos outros. Estas Zonas de Falha, podem não representar deslocamentos de grande amplitude, porém os movimentos de vaivem pode ser muito intenso, esfacelando ou pulverizando a rocha num processo denominado cataclase. Brechas de atrito ou de falha muitas vezes com cimento calcedônico (Figura3) e, gouges (farinha de falha), são de certa forma assim gerados (Tabela 3) e servem como indicativos da presença do falhamento. É comum processos de silicificação nessas fraturas, enrijecendo as áreas afetadas nos maciços rochosos.

**Tabela 2.3 - Nomes de campo para rochas associadas a falhas, segundo a classificação da Série Cataclástica**

Rochas incoesas			Trama isotrópica Textura clástica	Trama anisotrópica (planar, linear) Textura deformada -foliada
Rochas coesas			Brecha de falha (Não cimentada)	Não visível
Proporção de fragmentos visíveis	90-100%	Brecha de falha (cimentada) Fragmentos > 5mm Brecha s.s. Entre 1 e 5mm Brecha fina Menor que 1mm Microdobra	S C É A R T I A E C	
	50-90%	Protocataclasito	L Á	Protomilonito
	10-50%	Cataclasito	S T	Milonito
	0-10%	Ultracataclasito	I C A	Ultramilonito ou Filonito



**Figura 2.3 - Brecha de falha com cimento calcedônico**

Rejeito - É o deslocamento relativo de pontos previamente adjacentes nos lados opostos da falha, sendo medido no plano da falha. Normalmente constata-se o falhamento à escala de afloramento pela presença de superfícies polidas e estriadas em planos de fratura, sendo o rejeito muitas vezes indeterminado.

Atitude da falha é a direção de uma linha horizontal situada no plano de falha e mergulho de falha o ângulo diedro formado pelo plano de falha e em plano horizontal qualquer. A interseção do plano de falha com a superfície terrestre denomina-se traço, linha ou afloramento de falha.

### **Juntas ou Diáclases**

São fraturas que ocorrem de forma sistemática, segundo orientações preferenciais, compondo famílias ou sistemas persistentes no maciço rochoso. Em geral, comparecem dois ou mais sistemas que se entrecruzam, formando blocos poliédricos, cujas formas e dimensões dependem das orientações e espaçamentos relativos de cada sistema. Elas tornam-se mais adensadas nas proximidades das falhas regionais, podendo, em algumas situações, prognosticá-las.

Apresentam-se como superfícies planas ou irregulares e podem ser caracterizadas como sistemáticas, quando têm orientação subparalela e espaçamento regular ou não-sistemáticas quando não compartilham uma orientação comum normalmente aleatória ou condicionada pelas sistemáticas e, apresentam a superfície irregular ou curva. Juntas que apresentam orientação similar na mesma área constituem um conjunto ou família. Dois ou mais conjuntos de juntas na mesma área constituem um sistema de juntas.

Juntas sistemáticas podem não estar preenchidas, isto é, a fratura pode estar aberta e desprovida de minerais. Geralmente elas são as fraturas formadas mais recentemente na área, podendo apresentar superfícies muito lisas. Algumas superfícies de juntas são bastante irregulares; outras são marcadas por proeminências concêntricas, e são denominadas juntas plumosas.

Veios são juntas preenchidas e o preenchimento varia em composição de quartzo e feldspato a quartzo, calcita, dolomita, adularia, clorita, epidoto, bem como minerais metálicos como a pirita e a calcopirita. Fraturas podem também ser preenchidas com combinações de zeólitas, calcita e outros minerais de baixa temperatura.

Fraturas preenchidas ou não podem ocorrer num sistema conjugado. Para pares de famílias serem conjugados é necessário que tenham sido formados quase ao mesmo tempo por tensão ou cisalhamento.

Normalmente, as juntas servem para a definição do estado de segmentação da massa rochosa, e é da maior importância sua avaliação no campo, de forma sistemática e detalhada para cada domínio homogêneo presente.

### **Dobras**

As dobras são ondulações ou convexidades existentes em corpos rochosos originalmente planos. Elas exibem dimensões variadíssimas e são observadas em diferentes escalas. Os lados das dobras são denominados flancos que se unem na charneira. A superfície que divide a dobra em duas partes similares é o plano axial. Um antiforme é uma dobra que converge ou que se fecha para cima e o sinforme a que se fecha para baixo. Os tipos de dobras mais comuns são denominados anticlinais e sinclinais.. Outros tipos de dobras são: isoclinal, monoclinal, recumbente e de arrasto.

É considerada isoclinal, quando ambos os flancos mergulham na mesma direção e com o mesmo ângulo de mergulho; Monoclinal ou Flexão, quando se dá o encurvamento de apenas uma parte; Recumbente ou deitada, cujo plano axial tende a horizontalidade e de Arrasto um conjunto de dobras menores subordinadas a uma dobra maior.

### **Foliações e lineações**

Foliação é o termo que se aplica a determinadas feições planares características de algumas rochas metamórficas. Os mais importantes tipos de foliação encontrados em algumas rochas do Município do Rio de Janeiro, são:

- Gnaissoidade, ou foliação gnáissica, decorrente da orientação paralela de minerais geralmente placóides, como as micas ou de orientação planar de minerais alongados. Quando a rocha é formada predominantemente de minerais placóides, micáceos, oferecendo forte laminação, tem-se a xistosidade.
- Bandamento Composicional, definido por faixas paralelas de composições mineralógicas ou texturais diferentes. Comum em gnaisses e migmatitos.
- Bandamento Magmático - Semelhante a anterior, porém tem a sua ocorrência restrita a algumas massas ígneas plutônicas.
- Foliação Milonítica - Feição planar resultante do fluxo plástico laminar, imposto por cisalhamento não-coaxial ao longo de zonas de cisalhamento dúctil.
- Lineação - São feições lineares definidas pelo eixo de alongamento de elementos geológicos tais como minerais ou agregados minerais, ou por intersecções de feições planares principalmente em rochas deformadas por sucessivas fases de dobramento. As lineações mais importantes são a lineação mineral, dada pela orientação comum de eixos de minerais prismáticos e a lineação de estiramento dada pela alongação de minerais e agregados de minerais através da deformação.

Alguns corpos graníticos do Município do Rio de Janeiro, em particular o Granito Favela, apresentam estruturas planares e lineares dadas pelo fluxo magmático. Tais estruturas, em conjunto, podem originar uma foliação em algumas massas graníticas.

### **Zonas de Cisalhamento**

Afetando particularmente os gnaisses do Rio de Janeiro, verificam-se bandas, faixas ou zonas de cisalhamento dúctil, de diversas magnitudes, quase sempre de extensão regional e orientadas preferencialmente na direção ENE-WSW (de N70E a E-W).

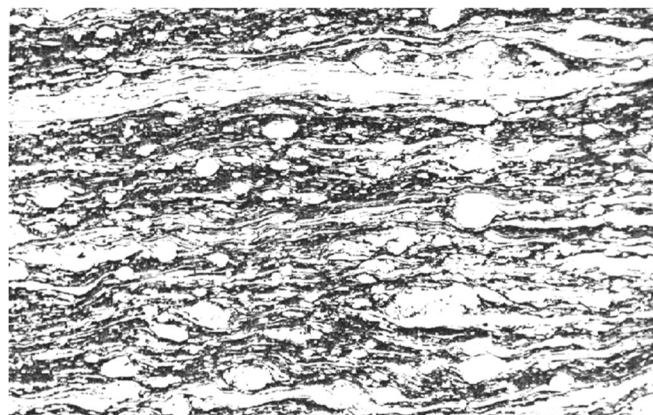
Estas zonas de cisalhamento, constituem estruturas de grande importância nos estudos de caracterização dos maciços rochosos, face as peculiaridades que apresentam:

- Forte deformação no centro da zona que grada para uma encaixante, pouco ou nada deformada.

- A espessura dessas faixas pode variar de alguns milímetros a centenas de metros.
- Geralmente apresentam aspecto anastomosado, com articulação de faixas, isolando lentes de rocha preservadas, configurando um padrão amendoado.
- Possui foliação penetrativa marcante.
- Formação de porfiroclastos e estiramento de minerais, sobretudo o quartzo.
- Desenvolvimento de rochas da série milonítica (Tabela 4).

**Tabela 2.4 - Nomes de campo para rochas associadas a falhas segundo a classificação da Série Milonítica**

Rochas incoesas			Trama isotrópica Textura clástica	Trama anisotrópica (planar, linear)		
Rochas coesas			Brecha de falha (Não cimentada)	Textura deformada - foliada		
Rochas coesas	Proporção de fragmentos visíveis	90-100%	Brecha de falha (cimentada)	Protomilonito	S M É I R L I O E N Í T I C A	
			Fragmentos > 5mm Brecha s.s.			S C
			Entre 1 e 5mm Brecha fina			É A
			Menor que 1mm Microdobra			R T
	50-90%	Protocataclasito	I A			
	10-50%	Cataclasito	E C			
	0-10%	Ultracataclasito	L Á	Milonito		
			S T	Ultramilonito ou Filonito		
			I C			
			A			



**Figura 2.4 - Rocha milonitizada**

Falhamentos posteriores, que ajustam-se às faixas de cisalhamento, aproveitando-as como zonas de debilidade crustal. Algumas destas fraturas encaixadas nas faixas de cisalhamento, servem de estruturas para alojamento de diques.

As zonas de cisalhamento dúctil são geradas por falhamentos a grandes profundidades na crosta. No Rio de Janeiro, estas zonas foram formadas há aproximadamente 548 Ma. e por isso não afetam grande parte dos granitos intrusivos, pois estes são geralmente mais jovens.

Essas faixas milonitizadas apresentam forte laminação realçada pelo intemperismo, e a conformação lenticular de corpos rochosos nas zonas de cisalhamento dúctil, se constitui de grande interesse, pois auxilia a definição de domínios estruturais de comportamentos geomecânicos distintos.



## Estruturas Atectônicas

### Juntas de Alívio ou de Descompressão

São descontinuidades subparalelas à superfície topográfica, na forma de deslocamentos que ocorrem principalmente em maciços rochosos resistentes, como aqueles constituídos por gnaisses ou granitos. (Figuras 5,6,7,8,9 e 10)



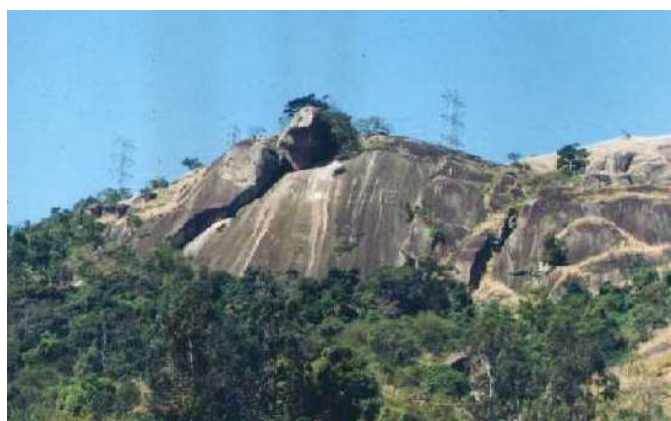
**Figura 2.5 - Juntas de alívio, com individualização de lascas, granito Pedra Branca**



**Figura 2.6 - Juntas de alívio no gnaisse**



**Figura 2.7 - Juntas de alívio interceptando fraturas tectônicas com formação de blocos**



**Figura 2.8 - Juntas de alívio conjugadas com fraturas tectônicas – formação de blocos -**



**Figura 2.9 - Juntas de alívio acompanhando planos de foliação do gnaiss, interceptadas por fraturas de origem tectônica e gerando blocos**

Geralmente são pouco espaçadas na superfície, com intervalos que podem chegar a poucos centímetros, tornando-se mais espaçadas em profundidades, onde tendem a se horizontalizar e tornarem-se indistinguíveis a algumas dezenas de metros. Esta persistência associada às aberturas por elas produzidas, configuram importantes condicionantes geotécnicos. Massas graníticas e gnáissicas aflorando em diferentes condições topográficas no Município, mostram bons exemplos dessas estruturas de relaxamento.

Como são caminhos preferenciais de percolação de água em subsuperfície, a alteração intempérica se desenvolve nas paredes das discontinuidades, produzindo uma alternância de rocha sã com rocha alterada, isto é, de materiais com diferentes níveis de alteração. Alguns escorregamentos podem ser acionados em encostas íngremes, em massas rochosas com estas características.

Em algumas vertentes verifica-se a ocorrência de lascas instáveis formadas por juntas de alívio, como aquelas citadas por Silva (1995) em afloramentos de leptinito no flanco nordeste do Morro de Dona Marta no bairro de Laranjeiras. A maior exposição à insolação dessa encosta, contribui, em parte, a geração dessas estruturas.

Deve-se assinalar, que os problemas de instabilidade em rocha no Rio de Janeiro, são mais graves em escarpas íngremes como a do Morro Dona Marta, devido a conjunção destes planos de alívio com as superfícies de falhas, uma vez que esta combinação geométrica acaba por individualizar lascas rochosas sujeitas a quedas de grandes alturas. O reconhecimento dessas condições estruturais é da maior importância nos projetos de estabilização requisitados.



**Figura 2.10 - Juntas de alívio e formação de lascas**

Silva (1995), ao avaliar a resistência ao cisalhamento de juntas de alívio em leptinitos do Rio de Janeiro, estabelece um ângulo de atrito básico de aproximadamente 34° e o ângulo de rugosidade variando de 3° a 9° para essas descontinuidades.

### **Juntas de contração de Massas Ígneas**

São feições que se desenvolvem nas partes mais externas de um corpo ígneo, após ele se cristalizar, mas enquanto seu interior encontra-se ainda móvel. São reconhecidas as juntas transversais, de distensão e perpendiculares ao fluxo magmático, as paralelas ao contato com as rochas encaixantes e as longitudinais paralelas a estrutura planar do fluxo magmático.

Diques espessos de granitos, como o Granito Favela, apresentam uma série de juntas singenéticas que numa trama ortogonal, limitam blocos quadráticos, arredondados pelo intemperismo e individualizados nas encostas pela erosão, muitas vezes em condições de equilíbrio instável.

Diques de diabásio apresentam sistemas de juntas singenéticas tendentes a formar um padrão colunar hexagonal perpendiculares ao contato com as encaixantes. São juntas de resfriamento ou de tração oriundas do decréscimo de volume da massa ígnea durante a sua consolidação (Figura 11). Nos maciços rochosos granítico-gnáissicos atuam como importantes descontinuidades que podem influenciar na dinâmica hidrológica à semelhança das falhas e inclusive condicionar a ocorrência de escorregamentos. Como nos granitos, tendem a formar blocos arredondados, geralmente em tamanhos inferiores, que se espalham pelas encostas nas proximidades do dique.



**Figura 2.11 - Juntas de contração no diabásio com formação de blocos**

### **Arcabouço Estrutural do Rio de Janeiro**

A exceção de alguns granitos intrusivos, os conjuntos gnáissicos foram gerados e deformados em regime dúctil durante a Orogênese Brasileira do Proterozóico Superior, que configurou a atual estruturação geológica NE-SW do Sudeste brasileiro.

Uma tectônica tangencial que produziu vários estilos de dobras e foliações associadas, evoluiu para uma tectônica direcional expressada através de extensas zonas de cisalhamento dúctil-rúptil de direção NE-SW que recortam o Estado do Rio de Janeiro, e bem representada pela Megazona de Cisalhamento ou Sistema Transcorrente Paraíba do Sul. Na cidade do Rio de Janeiro e adjacências é reconhecida a Zona de Cisalhamento Niterói, entre outras que afetam os diferentes gnaisses, milonitizando-os em espessas e extensas faixas de direção NE-SW a ENE-WSW. Embora estas faixas produzam uma marcante foliação tectônica, processos de silicificação observados em alguns trechos, particularmente em falhas mais jovens nelas encaixadas, enrijecem a rocha afetada pela deformação.



À tectônica dúctil sucedeu uma rúptil produzindo vários sistemas de falhas regionais, em grande parte ajustadas direcionalmente à foliação NE-SW e com diversos episódios de reativação, em tempos meso-cenozóicos, relacionados com a formação da Serra do Mar e dos Maciços Litorâneos. Portanto, além de uma tectônica antiga, Pré-Cambriana, geradora em larga escala, das principais feições estruturais do Rio de Janeiro, há evidentes indícios de uma Neotectônica, assinalada por removimentações ao longo de antigos planos de falha durante o terciário e, até no quaternário. Recentes estudos relativos a variações no campo de esforços na crosta desta região do sudeste, sugerem que os maciços rochosos aí existentes, estejam no presente sob um regime compressivo, e que ainda estão em desenvolvimento os fenômenos geotectônicos responsáveis por tais esforços e deslocamentos associados.

Analisando-se a configuração do quadro morfo-lito-estrutural dos Maciços Litorâneos do Município do Rio de Janeiro, em particular o da Tijuca face as litologias metamórficas existentes, e de acordo com o indicado por Costa (1986) e por Heilbron et al (1993), constata-se:

A presença de deformações sin e pós-metamórficas, produziu a foliação principal, paralela ao bandejamento migmatítico, lineação de estiramento, dobras apertadas isoclinais, recumbentes e reclinadas observadas desde a escala de afloramento até a de mapas, zonas de cisalhamento com milonitos associados e mais raramente xistosidade nos litotipos mais ricos em mica. Megadobras recumbentes associadas à topografia íngreme, resultam no complexo padrão de afloramentos observados em mapa. Posteriormente, foram geradas zonas de cisalhamento dúctil, N60-80E, subverticais, e com orientação paralela aos planos axiais das dobras. Estas zonas de cisalhamento são muito frequentes próximo ao litoral, na área do Pão de Açúcar e adjacências e na costa seguindo a Av. Niemeyer.

Dobras isoclinais fechadas, associadas a zonas de cisalhamento dúctil, são observadas com frequência nos domínios do Biotita Gnaiss e Gnaiss Facoidal no Arpoador, Urca e pontos da Serra da Carioca. Uma importante megadobra recumbente também relacionada, ocorre na porção Nordeste da Serra da Carioca e sua estrutura monitora praticamente a distribuição dos conjuntos litológicos no Rio de Janeiro. Lineações de estiramento de feldspatos potássicos no Gnaiss Facoidal são paralelas aos eixos dessas dobras.

#### **Variação da atitude da foliação principal dos Gnaisses do Maciço da Tijuca:**

Na Serra da Carioca, a foliação apresenta-se com direção preferencial N60-70E com mergulhos geralmente para o sul a megaescala e variável a nível de afloramento devido aos dobramentos.

Na Floresta da Tijuca, Serra da Tijuca e Pretos Forros a foliação principal dos gnaisses é noroeste, com mergulhos de baixos ângulos para SW. A Serra dos Pretos Forros está em grande parte estruturada por uma faixa de gnaiss facoidal e semifacoidal, em estrutura monoclinal ocupando toda parte inferior de sua porção norte.

A tectônica rúptil posterior, em grande parte pré-Cambriana, muitas vezes se adapta direcionalmente às faixas de cisalhamento dúctil, milonitizadas, produzindo falhas frequentemente silicificadas, de direção nordeste, com a presença ou não de brechas tectônicas. Algumas são nitidamente posteriores aos diques de diabásio e podem também se adaptar a essas antigas zonas de fraqueza crustal. Aparentemente retomam os planos de fraqueza das zonas de cisalhamento, com mergulhos fortes para SSE ou NNW. Exemplos dessas falhas de direção predominantemente ENE, e quase sempre silicificadas, ocorrem na vertente sul da Serra da Carioca e em Jacarepaguá.

Fraturamentos de direção noroeste, mais expressados no Maciço da Tijuca, em parte se ajustam à foliação aí dominante, particularmente no domínio do Biotita Gnaiss na zona de inflexão de uma megadobra. Alguns diques de rochas alcalinas e raros diabásios se encaixam em fraturas de direção N60W e N30W, que podem ser mais jovens que as dominantes N80E a E-W e as N45-50E, estas últimas com marcado encaixamento dos diques de diabásio ocorrentes em todo o Estado do Rio de

Janeiro. No Maciço da Pedra Branca destacam-se as direções N60-70E e N30W, todas quase sempre com mergulhos subverticais. No Maciço Gericinó-Mendanha, destacam-se as direções E-W, N50E e N60W. Também com mergulhos subverticais.

## **Solos e Perfis de Alteração**

### **Introdução**

Solo é um produto do intemperismo físico e químico das rochas, escavável, e que perde sua resistência quando em contato com a água. Avaliar e classificar os solos é poder prever seus comportamentos mecânicos e hidráulicos através das descrições realizadas em cortes e ensaios.

A descrição dos solos é feita através de um perfil geotécnico. A Pedologia privilegia os estudos nos níveis mais superiores do perfil do solo, onde ocorre intensa evolução pedogenética - horizontes A e B -, especial atenção é dada ao conhecimento dos níveis inferiores, denominado solo saprolítico ou de alteração pela Geologia de Engenharia.

### **Classificação dos Solos**

De maneira geral, pode-se estabelecer quatro tipos de classificação dos solos, segundo a forma de abordagem e os fins a que se destinam. São elas:

- 1 - Pedológica
- 2 - Geológica
- 3 - Textural ou Granulométrica
- 4 - Geotécnica

### **Classificação Pedológica**

De embasamento genético, apresenta uma série de divisões e subdivisões normalmente de aplicabilidade limitada quanto as questões pertinentes à Geologia de Engenharia, sobretudo em estudos de estabilidade das encostas. Sugere-se a classificação de Salomão e Antunes (1998), que é abrangente e destaca as mais importantes características dos diferentes tipos de solo sob um enfoque eminentemente pedológico

De um modo geral, nas montanhas do Rio de Janeiro ocorrem solos minerais não hidromórficos, que se desenvolvem em zonas de oxidação do terreno, apresentando ótima drenagem e pouco afetados pelo aquífero.

Incluem-se nesse grupo:

- Solos com horizonte B latossólico
- Solos com horizonte B textural (Podzólicos)
- Solos com horizonte B Câmbico ou incipiente
- Solos rasos ou litólicos, sem o horizonte B

### **Classificação Geológica**

Em Geologia, solo é o manto de intemperismo ou regolito, que recobre as rochas, de espessura variável, principalmente quando formado de material solto, incoerente, que, via de regra, passa gradativamente para a rocha fresca, inalterada. Com essa base conceitual podem então ser classificados:

- Solos Residuais ou Autóctones - derivados diretamente da rocha matriz pelo intemperismo. A esse material residual in situ dá-se o nome de eluvião.
- Solos Transportados - são aqueles sobrejacentes a solos residuais mais antigos, decapitados por processos erosivos de evolução das vertentes ou desenvolvidos sobre material alóctone, muitas vezes de natureza coluvionar, que recobrem, como depósitos de rampa, os solos residuais autóctones. Tais solos são frequentes nas vertentes do Sudeste e de difícil distinção dos autóctonos subjacentes, principalmente quando evoluídos pedologicamente. Linhas de Pedras (Stonelines), contínuas, horizontalizadas ou levemente inclinadas, servem, em alguns casos, como marcadoras de contato entre eles e também entre distintas gerações de colúvios, pois geneticamente estão, em grande parte associadas a antigas superfícies de erosão ou paleosuperfícies. São consideradas também, em alguns casos, como um paleopavimento detrítico.
- Colúvios - massas de solo e fragmentos de rochas em vários estágios de decomposição, recobrendo algumas encostas, de espessura variável, que sofreram ou estão sofrendo movimentação lenta, para baixo por ação da gravidade. São solos tidos como transportados e, portanto, podem possuir constituintes mineralógicos e rochosos, estranhos a rocha subjacente. Os colúvios apresentam estrutura porosa e geralmente com boa permeabilidade, o que não impede seu frequente envolvimento em escorregamentos nas áreas montanhosas, muitas vezes derivados da diminuição da coesão aparente em função do grau de saturação de água subsuperficial.
- Tálus- depósito caótico e de grande heterogeneidade, encontrado principalmente no sopé das escarpas (Figura 12), e originado por efeito da gravidade sobre fragmentos soltos de rocha e material inconsolidado. Seu constituinte fragmentar é anguloso e não se observa acamamento regular na massa detrítica. Tais depósitos apresentam mecanismos de instabilização próprios, principalmente em áreas submetidas à ações antrópicas. Em alguns pontos da Serra do Mar a espessura do conjunto tálus/colúvio chega a atingir até 80 m.



Figura 2.12 - Depósito de tálus, base do Morro Dois Irmãos

Examinando-se detidamente a classificação geológica segundo a sua formalização conceitual, com rigor, a denominação de solo é exclusiva ao último estágio da evolução intempérica de uma rocha, retratada pela sua decomposição total e pelo desaparecimento por completo de sua textura, implicando, conseqüentemente, ser sua origem obrigatoriamente autóctona. O que recobre é sedimento e não solo.

Para Pastore e Fontes (1998), a utilização da classificação geológica em Geologia de Engenharia é fundamental, pois sem esta, não é possível estabelecer a correlação entre os diversos horizontes ou camadas de solos que ocorrem em determinada região. No entanto, como a classificação geológica não fornece as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos, há necessidade de utilizar em conjunto, quando pertinente, classificações geotécnicas de modo a poder agrupar os diversos estratos, e considerando também as propriedades geotécnicas de interesse a determinado projeto.

Como também assinalam, a classificação geológica corresponde à interpretação da gênese do solo, com base na análise tátil-visual já apresentada, e em observações de campo acerca da forma de ocorrência (morfologia) e das relações estratigráficas com outras ocorrências (outros solos e rochas), interpretando-se os processos responsáveis pela gênese e, eventualmente, da rocha de origem.

### Classificação Textural ou Granulométrica

Tem como base as dimensões dos grãos ou partículas que constituem o solo. Os diferentes tipos são agrupados de acordo com sua textura, ou seja, o tamanho de suas partículas através de ensaios de granulometria. É uma classificação limitada, pois o comportamento dos solos não depende apenas da granulometria. No entanto, oferece uma informação essencial para a descrição dos solos, principalmente para solos grossos, que são as areias e os pedregulhos, e por isto ainda é muito utilizada.

A escala granulométrica internacional recomendada pela ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) e já amplamente utilizada no país é a seguinte: (Tabela 5)

Tabela 2.5 - Escala granulométrica

Descrição	Diâmetro das partículas
Argila	< 2 $\mu$ m
Silte	2 a 60 $\mu$ m
Areia fina	60 a 200 $\mu$ m
Areia média	200 a 600 $\mu$ m
Areia grossa	600 $\mu$ m a 2mm
Pedregulhos	>2 mm

### Classificação Geotécnica

Aquelas em que são consideradas e quantificadas propriedades geotécnicas, que determinam os parâmetros de engenharia. De acordo com Vargas (1985), os solos tropicais apresentam duas porções com comportamentos geotécnicos distintos: A porção superficial com intensa evolução pedogenética e estágio avançado de laterização, constituindo-se no solo laterítico e a porção profunda que apresenta estruturas reliquias da rocha e se constitui no solo saprolítico. Nestas circunstâncias, faz-se necessária uma amostragem adequada no perfil de alteração estabelecido, pois ensaios especiais normalmente são requisitados nas classificações geotécnicas convencionais.

Nas classificações geotécnicas convencionais são requisitados, ensaios de granulometria e limites de Atterberg, de liquidez e de plasticidade, para classificar e determinar o estado dos solos.

Entre as classificações geotécnicas mais utilizadas no mundo, encontra-se o USCS (Unified Soil Classification System), derivada da classificação de Casagrande (1948) em que os solos são agrupados em 14 grupos, representados por duas letras, que indicam tamanho dos grãos e grau de seleção.

## Perfil do Solo

É a secção vertical que, partindo da superfície aprofunda-se até onde chega a ação do intemperismo, mostrando, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente denominadas horizontes. Pedologicamente, os horizontes são zonas do solo, aproximadamente paralelas, que possuem propriedades resultantes dos efeitos combinados dos processos genéticos. As características consideradas para a diferenciação dos horizontes, usualmente são: cor, textura, estrutura, consistência, composição.

Na descrição de um perfil hipotético de solo, são usadas letras para discriminar os horizontes tais como: O, A, B, C e R e respectivas subdivisões, segundo uma divisão eminentemente pedológica. (Tabela 6)

**Tabela 2.6 - Perfil hipotético do solo**

Horizonte	Descrição
O	Horizonte orgânico, com restos vegetais e animais em processo de decomposição.
A	Presença de material orgânico na parte superior. Máxima perda por eluviação de argila, ferro e alumínio, com concentrações de quartzo e outros minerais resistentes. Máxima atividade biológica.
B	Concentração iluvial de argila, sesquióxidos de ferro ou alumínio e algo de matéria orgânica. Máxima expressão de cor e de estruturas.
C	É o menos afetado pelos processos pedogenéticos, e que carece das propriedades diagnósticas de A e B. Composição química, física e mineralógica similares ao da rocha matriz.
R	Rocha sã

Na divisão geotécnica de um perfil de solo, os horizontes pedológicos A e B, constituem o solo superficial, laterítico, e o horizonte C o solo de alteração ou saprolítico. Ainda há subdivisões, tais como saprolito propriamente dito, ou grosseiro no nível inferior, constituindo-se no primeiro nível de alteração da rocha e o saprolito fino ou residual jovem, que é um material arenoso, ainda com alguma estrutura reliquiar da rocha original. Logo acima, tem-se o residual evoluído ou maduro, com um maior percentual de argila e correlacionado ao horizonte B pedológico. A rocha alterada, em geral muito fraturada, permite grande fluxo d'água através das discontinuidades.

Uma comparação entre ambas as divisões é apresentada a seguir. (Figura 13)



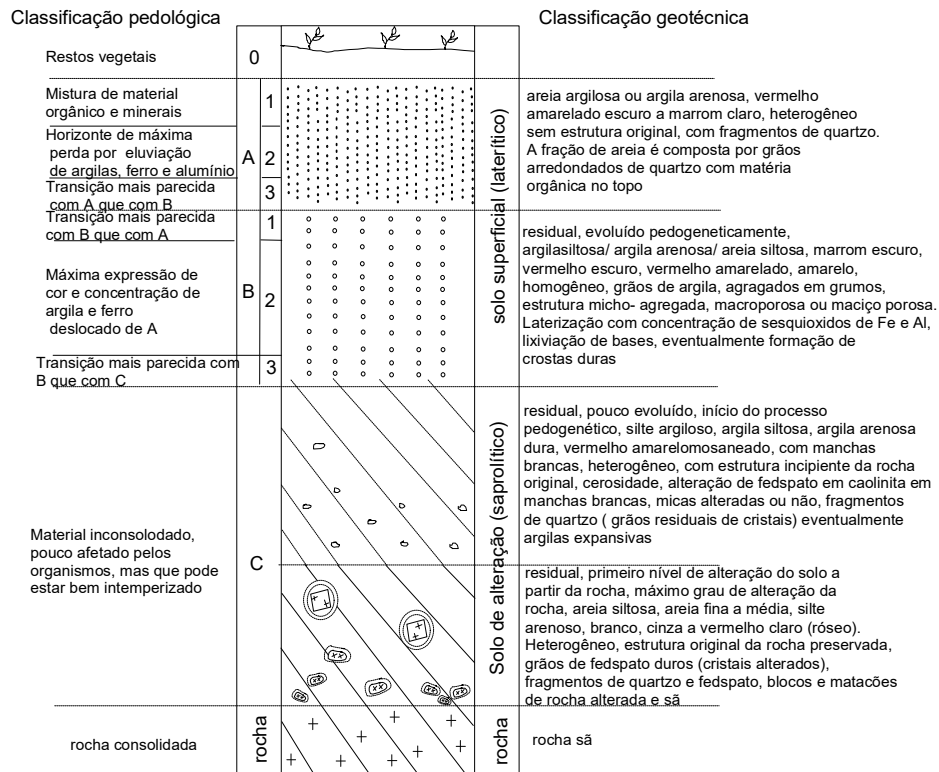


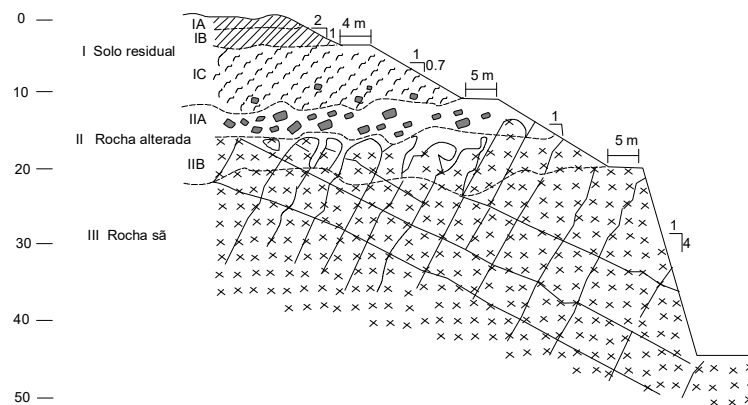
Figura 2.13 - Perfil do solo: uma comparação entre as classificações pedológica e geotécnica (de Kertzman e Diniz, modificado por Souza, 1992)

## Perfis de Alteração

### Definição e características

Entende-se como perfil de alteração ou de intemperismo, uma sequência de camadas com diferentes propriedades físicas, que desenvolveram-se in situ e que estão sobre a rocha sã ou matriz.

A literatura especializada internacional apresenta perfis genéricos de intemperismo para rochas graníticas e gnáissicas. Entre eles, destacam-se o de Deere e Patton (1971) (Figura 14). Um esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados é apresentado pela ISRM (International Society for Rocks Mechanics) sendo rotinamente utilizado. (Tabela 2.7)



Zonas	Descrição	RQD (%) ( $\phi=Nx$ )	Recuperação (%) ( $\phi=Nx$ )	Permeabilidade relativa	Resistência relativa
I – Solo residual	IA – Horiz. A (Eluvial)	-	0	Média a alta	Baixa a média
	IB – Horiz. B Iluvial)	-	0	Baixa	Baixa (alta se cimentado)
	IC- Horiz.C (saprolito)	0 ou não aplicável	0 a 10, em geral	Alta (perdas d'água comuns)	Baixa a média (influência das estruturas reliquiárias)
II _ Rocha alterada (de solo residual ou saprolito até rocha parcialmente alterada)	IIA transição	Variável, em geral 0 a 50	Variável, em geral 10 a 90%	Média a alta	Média a baixa (se as estruturas reliquiárias forem de baixa resistência)
	IIB rocha parcialmente alterada	50 a 75 em geral	> 90, em geral	Baixa a média	Média a alta **
III Rocha sã	Descontinuidades sem alteração e películas de óxidos de ferro; feldspatos e micax inalteradas	>75 (>90 em geral)	100, em geral		Muito alta **

Notas: \* descrição de cada zona é a única forma viável de distinção entre elas.  
 \*\* considerando apenas o maciço intacto, sem estruturas geológicas com altitudes desfavoráveis

**Figura 2.14 - Características principais dos horizontes de um perfil de alteração de rochas ígneas e metamórficas e respectivas soluções típicas para taludes de corte (Deere e Patton, 1971 apud Augusto Filho e Virgili, 1998)**

**Tabela 2.7 - Esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados segundo a ISRM.**

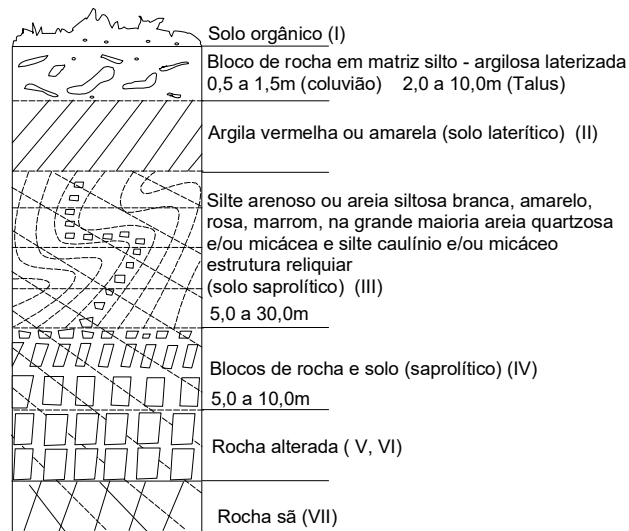
Termo	Descrição	Classe
Sã	Nenhum sinal visível de alteração da matriz; possível leve descoloração ao longo das descontinuidades principais.	I
Levemente intemperizado	Descoloração indica intemperismo da matriz da rocha e de superfícies de descontinuidade. Toda a matriz da rocha pode estar descolorida pelo intemperismo e pode estar algo mais branda extremamente do que na condição sã.	II
Mediamente intemperizado	Menos da metade da matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	III
Altamente intemperizado	Mais da metade da matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	IV

Completamente intemperizado	Toda a matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. A estrutura original está, em grande parte, preservada.	V
Solo residual	Toda a rocha está convertida em solo. A estrutura do maciço e da matriz da rocha está destruída. Há uma grande variação de volume, mas o solo não foi significativamente transportado.	VI

Uma terminologia para descrição genérica de perfis de alteração objetivando as descrições de sondagens, escavações e afloramentos no âmbito da Geologia de Engenharia é proposta por Pastore (1995) e apresentada na Tabela 2.8 **Error! Reference source not found.** e na Figura 15:

**Tabela 2.8 - Características gerais de um perfil de alteração**

Horizonte	Características gerais
Horizonte de Solo Orgânico (I)	Correspondente ao horizonte A pedológico.
Horizonte Laterítico (II)	Correspondente ao horizonte B pedológico, podendo ser formada tanto por solos residuais como transportados. Em depósitos de tálus antigos, processos de evolução pedológica, como a laterização, afetam a matriz de solo que envolve os blocos de rocha e matações. Apresenta curva granulométrica e espessura bastante variável, e não apresenta estruturas típicas da rocha de origem.
Horizonte de Solo Saprolítico (III)	Corresponde ao horizonte C pedológico e sua principal característica é apresentar estrutura reliquiar da rocha de origem, podendo conter até 10% de blocos de rocha. Além da estrutura de rocha, descontinuidades do maciço rochoso, tais como falhas, fraturas e juntas encontram-se preservadas na forma reliquiar. A espessura e composição granulométrica deste horizonte é muito variável, de cores geralmente claras, às vezes micáceo, sendo um solo autenticamente residual.
Horizonte Saprolítico ou Saprolito (IV)	É a transição entre a massa de solo e o maciço rochoso. É composto basicamente por blocos ou camadas de rocha em vários estágios de alteração, com dimensões variáveis, envolvidas por solo saprolítico. O solo tende a se desenvolver ao longo de descontinuidades remanescentes do maciço rochoso, onde a percolação de água é mais facilitada, e em zonas de rochas mais sensíveis à alteração. A quantidade de blocos é muito variável, de 10 a 90%, fazendo com que o horizonte saprolítico apresente um comportamento geotécnico extremamente variável. A espessura é bastante irregular, sendo comum grandes variações e mesmo ausência de camada em certos trechos da massa de solo. Há dificuldades de identificá-lo e geralmente apresenta elevada permeabilidade e dificuldades de escavação.
Horizonte de Rocha muito Alterada (V)	Caracteriza o topo do maciço rochoso, sendo a rocha geralmente composta por minerais em adiantado estágio de alteração, sem brilho e com resistência reduzida quando comparada à rocha sã. A alteração da rocha é frequentemente mais intensa ao longo de juntas e fraturas do maciço rochoso.
Horizonte de Rocha Alterada (VI)	Neste horizonte a rocha apresenta minerais descoloridos devido ao início do processo de alteração, sendo este mais pronunciado ao longo de juntas e fraturas. A resistência da rocha é bem maior que a do horizonte de rocha muito alterada.
Horizonte de Rocha Sã (VII)	É composto por rocha predominantemente sã, cujos minerais apresentam-se com brilho sem sinais evidentes de alteração, podendo haver no entanto, indícios do início desta ao longo de juntas e fraturas.



**Figura 2.15 - Perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões de serra (Pastore e Fontes, 1998).**

A espessura e propriedades dos perfis dependem da litologia da rocha matriz, das discontinuidades presentes, da topografia, da condição climática e da hidrologia. Como estes fatores variam horizontalmente, o perfil de alteração pode variar significativamente com relação as distâncias horizontais relativamente curtas, dificultando a determinação de perfis característicos para distintos tipos de rocha matriz, Figuras 16 e 17.



**Figura 2.16 - Perfil de alteração em gnaiss com estruturas reliquias, Rio das Pedras**



**Figura 2.17 - Perfil de alteração em gnaiss Archer com estruturas reliquiare e núcleos preservados, Rua Gama Malcher**

Examinando-se a geologia do Município, constata-se que as litologias de maior expressão areal e mais frequentes nas encostas de áreas mais densamente ocupadas ou em franco processo de ocupação, como as do Maciço da Tijuca, são aquelas que compõem os gnaisses da Série Superior, representados pelo Leptinito, Gnaiss Facoidal, Biotita Gnaiss e Kinzigito e descritas no item 2.2 do Manual.

A observação de diversos perfis de alteração sobre essas rochas, tem demonstrado claras distinções daqueles normalmente apresentados na literatura como sendo típicos de gnaisses.

Há grande dificuldade de reconhecimento das diferentes zonas de alteração, quando existentes. Comumente verificam-se passagens, muitas vezes bruscas, entre os níveis identificados, sendo frequentes os locais de contato direto entre solo residual e rocha sã. Acordando Marques (1998), não há um perfil de intemperismo para os três gnaisses mais comuns no Rio de Janeiro - Biotita Gnaiss/Kinzigito, Gnaiss Facoidal e Leptinito - mas sim uma “zona de alteração” controlada pela presença de estruturas geológicas - falhas, fraturas, juntas de alívio, por onde percolam as águas de subsuperfície, que determinam a distribuição espacial dos níveis de alteração identificados para estas rochas. A foliação praticamente não apresenta influência no desenvolvimento destas zonas. Um raro exemplo de um típico perfil de intemperismo na região, é aquele caracterizado por Lima (1995), na Avenida Niemeyer em Kingizito (Tabela 9)

Tabela 2.9 - Perfil de intemperismo em kingizito da Av. Niemeyer

Nível de alteração – Lima ( 1995)	Nível de alteração correspondente	Espessura (m)	Características principais
R0	Nível I	10.0	Formado por quartzo, feldspato potássico( microclina) e plagioclásio ( oligoclásio), biotita (sã a levemente alterada), granada, muscovita, silimanita, óxidos e hidróxidos de ferro, pirita, hematita, zircão, cordierita e epidoto. Fraturas preenchidas por argilo-minerais e óxido de ferro. Aspecto são em amostras de mão. Em lâmina notam-se evidências de alteração incipiente.
R1	Nível II	2.0	Formado por quartzo, biotita sã e alterada (com sinais de esfoliação), microclina, anortita em subordinadamente, silimanita, ilmenita, magnetita, hematita, pirita, zircão e argilominerais. Cordierita totalmente alterada para argilomineral. Aumento da porosidade produzida por fraturamento.
R2	Nível III	2.0	Amostra cinza amarelada, com grande concentração de óxidos de ferro e manganês. Microscopicamente, observa-se identidade mineralógica com a amostra do nível anterior, entretanto com alteração mais intensa sobre granada, biotita e feldspatos. A biotita apresenta, como nível anterior, dois tipos de comportamento de alteração: abertura de lamelas (esfoliação) e abertura de lamelas + preenchimento por argilominerais.
R3	Nível IV	6.0	Amostra friável, cor avermelhada, composta por quartzo, óxido de ferro e alumínio, feldspato (em menor quantidade) e tamanho- principalmente nas bordas de fraturas) e biotita. Estrutura da rocha ainda preservada.
SP(1a4)	Nível V	30.0	Solos residuais não analisados no presente trabalho.

Perfis de alteração no Município, demonstram que a ação intempérica produz materiais extremamente diferentes, mesmo para rochas idênticas, dependendo de sua localização na encosta, do estágio de alteração e as descontinuidades estruturais presentes, que influenciam na circulação da água em subsuperfície e, conseqüentemente, no avanço da frente de alteração em profundidade. Nesse sentido, destacam-se os trabalhos de Rocha (1992), Menezes Filho (1993), Barroso (1993), Sobreira (1993), Lima (1995), Pimentel (1995), Barroso et al (1996) e Marques (1998).

No Leptinito existente na Serra da Carioca estruturas geológicas condicionam fortemente o desenvolvimento de perfis de alteração, como demonstram Sobreira (1993), Barroso (1993) e Pimentel (1995). No Kinzigito, assinala Marques (1998), há forte controle estrutural através de fraturas por onde percolam as águas de subsuperfície. A variação do microfraturamento ao longo do perfil de alteração, reveste-se de grande importância, pois verifica-se a variação gradativa de fraturas intragrãos para fraturas transgranulares, aliada a um aumento da abertura das fissuras e da oxidação ao longo de seus planos. Essas transformações tem grande influência no comportamento geotécnico da rocha matriz e seus produtos de alteração intempérica, em termos de resistência e deformabilidade. Variações ao longo de perfis de alteração do Kinzigito, do Leptinito e do Gnaisse Facoidal, segundo Marques (1998), estão indicadas na Tabela 2.10.

**Tabela 2.10 - Variação do microfraturamento com a evolução do intemperismo**

Nível de alteração	Kinzigito	Leptinito	Gnaiss facoidal
Nível I	Fraturas intragranulares mais comuns, com fraturas trans e intergranulares subordinadas pouco oxidadas e abertas.	Apenas fraturas intragranulares seladas.	Fraturas passando gradualmente, com o avanço do intemperismo, de intragranulares a intergranulares, localizadas principalmente no contato entre a matriz mais fina e os facóides, paralelamente à foliação.
Nível II	Fraturas trans e intergranulares mais comuns com intergranulares subordinadas, oxidadas e pouco abertas.	Fraturas intragranulares mais intergranulares, paralelas à foliação.	
Nível III	Fraturas trans e intergranulares mais comuns com intergranulares subordinadas, oxidadas e pouco abertas.	Intragranulares ainda mais frequentes, podendo originar fraturas transgranulares (locais). Fraturas intergranulares com maior abertura e persistência, paralelas à foliação e no contato entre os grãos.	
Nível IV	Fraturas intra, inter e transgranulares igualmente presentes, bastante oxidadas.	Predomínio de fraturas transgranulares que obliteram a foliação.	
Nível V	Fraturas inter e transgranulares são as mais comuns, com aberturas de até 2.0mm.	Não foi identificado.	

**Critérios para descrição de perfis de alteração no Rio de Janeiro**

O levantamento dos parâmetros a serem pesquisados para o reconhecimento do grau de alteração intempérica da matriz, pode se feito através de dois tipos de observações a serem realizadas no campo, segundo Barroso (1993) e indicados na Tabela 11.



**Tabela 2.11 - Parâmetros a serem investigados para reconhecimento do grau de alteração intempérica da matriz.**

Tipo de observação	Parâmetros
Visual e de reconhecimento geológico	Mineralogia/ granulometria Textura Grau de descoloração Decomposição mineralógica Presença de estrutura original da matriz
Testes de reconhecimento mecânico	Resistência ao golpe do martelo geológico Escavação manual Risco do canivete ou da unha Facilidade do grão ser arrancado do arcabouço da rocha Quebra de testemunhos NX Desagregação do material em água

Os níveis ou estágios de alteração intempérica da rocha matriz, podem ser identificados através da aplicação do cadastro de teste da matriz, desenvolvido para os materiais de alteração do Rio de Janeiro por Barroso (1993) e indicados na Tabela 2.12.

**Tabela 2.12 - Cadastro de testes da matriz para o reconhecimento e classificação dos estágios de alteração intempérica em rocha.**

<b>Cadastro de testes da matriz</b>
A. Breve descrição da rocha
B. Caracterização da decomposição química ( por mineral) Inalterado Sem brilho ou brilho reduzido Descolorido ou com cor alterada Argilização na superfície Totalmente argilizado Oxidado
C. Caracterização da desagregação física C.a Resistência ao golpe do martelo geológico Rocha pode ser apenas lascada Rocha pode ser quebrada com diversos golpes Ponta do martelo produz entalhe na superfície Golpe do martelo desagra parcialmente a rocha Golpe desagra completamente a amostra C.b. Escavação manual usando pá ou mão Não pode ser escavado com a pá Escavado com grande dificuldade com a pá ou espátula Escavado com dificuldade pelas mãos Escavado facilmente com as mãos C.c Risco do canivete e da unha ( por mineral) Nenhum arranhão Arranhado com dificuldade pelo canivete Arranhado facilmente pelo canivete Facilmente arrancados pelo canivete C.d. Facilmente de ser arrancado do arcação da rocha ( por mineral) Não pode ser arrancado Arrancado com dificuldade pelo canivete Facilmente arrancados pelo canivete C.e. Quebra de testemunhos NX Não pode ser quebrado Quebrado com as mãos

É importante, no campo, a observação do comportamento de minerais considerados marcadores das passagens entre os níveis de alteração, como as biotitas, os feldspatos e, as granadas. A aplicação desses marcadores em Kinzigitos tem dado bons resultados como demonstra Marques (1998).

Barroso et al (1996) apresentam as principais mudanças mineralógicas ocorridas com os gnaisses da Série Superior com o avanço do intemperismo. (Tabela 13)

**Tabela 2.13 - Principais mudanças mineralógicas ocorridas com os gnaisses da Série Superior com o avanço do intemperismo. (Barroso et al, 1996)**

Nível de alteração	Gnaisse facoidal	leptinito	Kinzigito
Nível I	Todos os minerais estão íntegros perante a observação macroscópica, apenas os feldspatos podem estar com o brilho reduzido. A rocha rompe com extrema dificuldade, necessitando-se de mais de um golpe com o martelo geológico para lascá-la ou quebrá-la. Neste estágio, a rocha não pode ser escavada manualmente. Com o uso do canivete, apenas a biotita é arranhada. Não é possível arrancar-se nenhum mineral do arcabouço da rocha.	Os minerais apresentam-se sem alterações perceptíveis, eventualmente os feldspatos podem estar com o brilho reduzido. São necessários vários golpes de martelo geológico para quebrar a rocha. Não é possível escavá-la manualmente. Apenas a biotita pode ser arranhada pelo canivete. Nenhum mineral pode ser arrancado do arcabouço da rocha. Os testemunhos NX não podem ser quebrados com as mãos.	Os minerais mantêm o brilho, a cor e a dureza originais. Não é possível arrancar grãos da matriz da rocha. Para quebrá-la são necessários vários golpes com o martelo geológico.
Nível II	Os feldspatos perdem seu brilho, enquanto as biotitas e granadas apresentam uma acentuada redução do mesmo e da cor original. A rocha pode ser quebrada com diversos golpes de martelo geológico, não sendo possível escavá-la manualmente. As granadas já podem ser arranhadas com dificuldade pelo canivete, embora nenhum mineral possa ser arrancado da rocha.	Os feldspatos, biotitas e granadas mostram redução do brilho original. Biotitas tornam-se cinza e as granadas ocre. A rocha é quebrada com diversos golpes de martelo geológico. Não é possível escavá-la manualmente. É possível riscar as granadas e feldspatos com dificuldade, pelo canivete. Apenas a biotita pode ser, eventualmente, arrancada da rocha.. Testemunhos NX não são quebrados com as mãos.	A rocha apresenta sinais de alteração incipiente. Alguns feldspatos apresentam perda de brilho. As biotitas e granadas aparecem algo oxidadas. Este estágio apresenta fraturas pouco oxidadas, em direções variadas.
Nível III	Os feldspatos apresentam-se totalmente descoloridos e, eventualmente, argilizados na superfície. Biotitas e granadas apresentam acentuada alteração da cor, sendo esta última possui claros sinais de oxidação. A ponta do martelo geológico produz entalhe na rocha, que ainda não pode ser escavada manualmente. Feldspatos, biotitas e granadas são arranhados pelo canivete, os dois últimos mais facilmente. Neste estágio, algumas biotitas e granadas já podem ser arrancados da matriz.	Os feldspatos estão descoloridos e argilizados na superfície. Biotitas e granadas revelam acentuada mudança de cor e claros sinais de oxidação. A ponta do martelo geológico produz entalhe raso na superfície da rocha, não sendo possível escavá-la manualmente. Com exceção do quartzo, todos os minerais são riscáveis pelo canivete, biotitas e granadas mais facilmente. Testemunhos NX não são quebrados com as mãos.	Os feldspatos apresentam-se superficialmente argilizados, e é possível riscá-los através do canivete com relativa facilidade. As biotitas e granadas apresentam-se com oxidação acentuada. É possível a retirada de vários grãos da matriz e escavá-la localmente com o auxílio do canivete. A matriz apresenta-se levemente oxidada.
Nível IV	À exceção do quartzo, todos os minerais estão alterados. As granadas estão muito oxidadas. Os feldspatos apresentam-se argilizados em superfície. O golpe do martelo desagrega parcialmente a rocha, e uma pá ou espátula são capazes de escavá-la com grande dificuldade. Todos os minerais, excluindo-se o quartzo, podem ser arrancados pelo canivete, sendo que a granada pode ser arrancada pela unha. O canivete é capaz de produzir um sulco profundo sobre a matriz e grande parte dos minerais podem ser arrancados da amostra.	O único mineral que permanece inalterado é o quartzo. Feldspatos, biotitas e granadas estão argilizados, embora não totalmente. O golpe do martelo produz desagregação parcial da amostra, que neste estágio já pode ser escavada por uma pá ou espátula com grande dificuldade. Todos os minerais, excluindo-se o quartzo, podem ser riscados facilmente pelo canivete. Os minerais já podem ser arrancados pelo canivete. Não se obteve testemunhos NX neste estágio.	A argilização dos feldspatos é tão intensa que confere uma grande friabilidade à matriz da rocha. É possível a retirada de grãos da matriz sem dificuldade. Algumas porções da rocha podem ser escavadas com as mãos. Porém, também há porções não escarificáveis devido à ocorrência de cimentação por óxido de ferro, oriundo da intemperização das biotitas e granadas.

### Caracterização geomecânica dos materiais dos perfis de alteração

#### Procedimentos gerais:

No campo: Distinção das características reconhecidas dos materiais de transição resultantes do intemperismo. Deve-se considerar a relação com a geomorfologia e a geologia estrutural.

No laboratório: Estabelecer as características mineralógicas através de determinações petrográficas macro e microscópicas, identificar as propriedades físicas dos materiais coletados através de diferentes ensaios, tais como, peso específico aparente e saturado, porosidade, grau de saturação, teor de umidade de saturação e, análises de resistência e deformabilidade através de ensaios de tração, de compressão puntiforme, de compressão uniaxial e de compressão triaxial.

## **Caracterização de Maciços Rochosos**

As características que traduzem a qualidade dos meios rochosos, do ponto de vista do seu aproveitamento em engenharia, associam-se, fundamentalmente a litologia, ao estado de alteração, a coerência e às descontinuidades.

### **Litologia**

Diz respeito aos tipos de rochas que recebem denominações específicas e que são identificadas a partir de um sistema de classificação.

As litologias são individualizadas através do reconhecimento da sua composição mineral, cor, textura, tamanho dos grãos, estruturas e outras feições que permitam discriminá-las. Adota-se, então, como critérios de classificação, o grupo genético, estruturas principais, textura, granulação e mineralogia.

Considerando-se as litologias comuns nas encostas do Rio de Janeiro, indicadas e descritas no item 2.2 deste Manual, são apresentados a seguir, alguns parâmetros normalmente requisitados para caracterizá-las.

### **Classificação para rochas ígneas**

Classificação baseada na composição mineralógica é aplicada rotineiramente em petrografia. Entre elas se destacam as propostas pela IUGS (International Union of Geological Sciences) compiladas por Le Maitre (1989). Atende-se, no Manual, a classificação baseada em Streckeisen (1976), de uso corrente e amplamente aplicada na qualificação petrográfica das rochas ígneas plutônicas e vulcânicas. É comum na literatura geológica o termo granitóide, aplicado não apenas para o granito “sensu stricto”, mas também para os granodioritos, tonalitos e alcaligranitos.

Para rochas metamórficas, a classificação é dada em função das condições de metamorfismo, (pressão e temperatura principalmente), em que foram geradas e a composição química/mineralógica do material original que sofreu a ação do metamorfismo.

### **Cor**

Apesar de ser um parâmetro subjetivo e, muitas vezes variável num mesmo tipo de rocha, é característico para um determinado corpo rochoso, servindo para qualificá-lo, em conjunto com os demais aspectos macroscópicos de rochas ou amostra de mão (Frasca e Sartori, 1998).

Com um espécime fresco, torna-se possível uma subdivisão grosseira com base na cor. Rochas ricas em sílica, como os granitos, usualmente contém considerável proporção de minerais claros, como o quartzo e o feldspato. Rochas ricas em ferro e magnésio, como os diabásios, gabros e dioritos, tendem a conter minerais escuros, como o piroxênio, o anfibólio e a biotita. Com base na quantidade de cor versus o branco (ou claro), um índice de cor pode ser estabelecido que leva a um caminho aproximado para a determinação da composição.

Assim, uma rocha que contém menos de 30% de minerais ferro-magnesianos (escuros ou máficos) é considerada clara e pode ser denominada de Leucocrática. Entre 30% e 60% de ferro-magnesianos, é denominada Mesocrática, e acima de 60% de Melanocrática. É comum as rochas serem apenas consideradas félsicas (p.ex.: granito) ou máficas (p.ex.: gabro).

Tal índice é geralmente utilizado para rochas ígneas plutônicas e os principais minerais ferro-magnesianos presentes são piroxênios, anfibólios e biotitas. Também pode-se utilizar para definir a cor da rocha a tabela de cores para rochas publicada pela Geological Society of America (Rock-Color Chart Comunittee, 1963).

### **Textura, Estrutura, Trama ou Fabric**

#### Textura

Refere-se em geral a aparência física ou aos caracteres da rocha, incluindo aspectos geométricos e relações mútuas entre eles, particularmente os componentes ou cristais por exemplo: cristalinidade, granularidade ou então o grau de desenvolvimento dos cristais na rocha. O termo normalmente é aplicado para pequenas feições, visíveis em amostras de mão ou com auxílio do microscópio.

#### Estrutura

É uma feição megascópica de uma massa rochosa ou unidade rochosa, geralmente observada em cortes, pedreiras e grandes exposições. Pode representar uma descontinuidade, um acamamento ou um bandeamento. A estrutura indica de certa forma como a rocha é organizada ou feita pelas suas partes componentes. Não obstante os dois termos são frequentemente usados permutativamente.

#### Trama ou Fabric

É a soma das feições texturais e estruturais da rocha ou massa rochosa. O termo incorpora a noção de função ou comportamento das propriedades físicas correlatas, bem como a forma e a disposição espacial dos componentes estruturais e texturais. Um domínio de trama é uma área ou volume tridimensional, definida por limites, tais como, descontinuidades estruturais ou composicionais, dentro do qual a trama da rocha é uniforme. De um modo geral a trama ou fabric refere-se especificamente ao arranjo dos grãos ou cristais constituintes da rocha, sendo a orientação preferencial destes constituintes, o mais evidente aspecto do fabric da rocha.

#### Texturas Ígneas

Cristalinidade ou Grau de cristalização: É a proporção relativa de vidro e cristais.

- Tamanho dos cristais: fanerítica, quando os cristais são visíveis a olho nú e afanítica quando não são visíveis a olho nú.

- Granularidade ou tamanho dos Grãos:

- grão fino: < 1 mm
- grão médio: 1 - 5mm
- grão grosso: 5 mm - 5 cm

Excepcionalmente se utiliza o termo muito grosso com grãos entre 5 cm e 20 cm . Acima disto diz-se que a textura é pegmatítica.

Quando referente ao tamanho relativo dos grãos:

- Equigranular - quando todos os cristais teem aproximadamente o mesmo tamanho.
- Inequigranular: quando os cristais diferem substancialmente em tamanho.

Quando um cristal se destaca em tamanho com relação aos demais o denominamos fenocristal.

Com relação a forma, os cristais se dividem em idiomórficos ou euédricos, hipidiomórficos ou subeuédricos e xenomorfos ou alotriomorfos ou anhedral, isto é, completamente limitados por faces cristalinas, parcialmente limitados por faces cristalinas e desprovidos de faces cristalinas respectivamente.

Padrão textural de rocha ígneas plutônicas

- Panidiomórfica: quando a grande maioria dos cristais são idiomórficos (mais de 90%). Podem ser equigranular ou inequigranular.
- Hipidiomórfica: quando todos os cristais são hipidiomórficos ou bem existam cristais idiomórficos, subidiomorfos ou hipidiomorfos e xenomorfos conjuntamente (caso mais comum). Ela pode ser equi- e inequigranular.
- Alotriomórfica: quando a maioria dos cristais (mais de 90%) são xenomorfos. Também pode ser equigranular ou inequigranular.

#### Texturas ígneas especiais:

- Textura granítica: característica das rochas graníticas (granitos, granodioritos e tonalitos). É uma textura hipidiomórfica inequigranular de tamanho de grão variável.
- Textura diabásica: típica dos diabásios. É definida por uma disposição entrecruzada de plagiclásios deixando ocos ocupados por piroxênios. Grada para a textura ofítica, uma variação da diabásica.

#### Texturas Metamórficas

Lista-se aqui texturas normalmente encontradas nas rochas metamórficas do Município do Rio de Janeiro. Tratando-se de rochas derivadas principalmente do metamorfismo regional de grau elevado, apresentam em alto grau de cristalinidade. Por isso são caracteristicamente rochas com textura cristaloblástica que podem ser agrupadas em quatro tipos morfológicos, dependendo do hábito dos cristais que as formam.

- Textura granoblástica - característica dos quartzitos.
- Lepidoblástica - de alguns gnaisses biotíticos.
- Nematoblástica - dos gnaisses anfibolíticos.
- Porfiroblástica - pela presença de porfiroblastos, que são cristais maiores que a matriz, lembrando a porfírica das rochas ígneas. Seu representante é o gnaisse facoidal.

Pode haver combinações entre elas:

Textura granolepidoblástica - é a dos gnaisses bandados, onde observam-se alternância de bandas ricas em micas com bandas ricas num agregado quartzo-feldspático.

Textura granonematoblástica - comum nos gnaisses anfibolíticos e nos anfibolitos.

### 1. Resistência

Refere-se ao grau de resistência da matriz rochosa entre descontinuidades. De certa forma pode ser confundido com o grau de coerência normalmente aplicado em rochas sedimentares inexistentes nas encostas do Rio de Janeiro.

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), o ensaio de compressão puntiforme define a resistência da matriz rochosa através de teste expedito, realizável no campo com um equipamento portátil, em fragmentos rochosos irregulares, ou testemunhos de sondagens. Uma vez obtida a resistência da rocha, esta é classificada segundo determinadas convenções, como a adotada abaixo, que divide o campo de resistência à compressão uniaxial em seis faixas:

**Tabela 2.14 - Grau de resistência da matriz rochosa**

<b>Classificação</b>	<b>Grau de resistência</b>
Muito Dura	> 200 MPa
Dura	120 – 200 MPa
Relativamente Densa	60 – 120 MPa
Razoavelmente Macia	30 – 60 MPa
Macia	10 – 30 MPa
Extremamente Macia	< 10 MPa

Observando-se tal classificação, infere-se, a grosso modo, que as rochas das encostas do Município do Rio de Janeiro apresentam-se, quando não tectonizadas ou intemperizadas como resistentes ou muito resistentes.

## 2. Alteração

A alteração da rocha, particularmente a derivada da ação dos processos intempéricos é da maior importância na caracterização da massa rochosa. A decomposição do material rochoso favorece a diminuição da resistência mecânica, favorece o aumento da deformabilidade e modifica as propriedades de permoporosidade das rochas, isto é, há perda das características geomecânicas dos materiais rochosos.

Como a alteração é o conjunto de modificações físico-químicas a que as rochas se encontram submetidas, a consequência do fenômeno é a degradação de suas características mecânicas. Assim, para o mesmo tipo litológico, a rocha mostra-se menos resistente e mais deformável, quanto, mais avançada a alteração, o que permite reconhecer estágios ou graus de intensidade da manifestação do processo. A caracterização do estado de alteração do meio rochoso é feita tatil-visualmente, com base em variações do brilho e cor dos minerais e da rocha, além da friabilidade.

## 3. Descontinuidades

O estudo das descontinuidades é da maior importância na caracterização das massas rochosas, pois condicionam significativamente a resistência, a deformabilidade e a permeabilidade do meio rochoso, podendo, inclusive, controlar sua estabilidade.

Uma descontinuidade é qualquer feição geológica que interrompa a continuidade física de uma dado meio rochoso. É um termo que coletivamente inclui juntas, fissuras, falhas, planos de cisalhamento, xistosidade, planos de acamamento, etc. Devem ser descritas cuidadosamente e com precisão pois controlam o comportamento geotécnico da maioria das massas rochosas.

Parâmetros a serem considerados: localização e orientação, espaçamento, persistência, rugosidade, abertura, preenchimento e escoamento de água.

Guidicini e Nieble (1984), em alusão ao estudo da compartimentação da massa rochosa, propõem distinguir três grandes grupos de descontinuidades, não em função de sua gênese, mas em função de sua geometria, ou distribuição espacial, dentro do maciço. São eles:

- Compartimentação principal, constituída pelas famílias, jogos e sistemas de juntas; ou seja, estruturas apresentando sensivelmente a mesma orientação, inclinação e intensidade de ocorrência; são descontinuidades de segunda grandeza, tendo, em geral, extensão limitada. Isso significa que, em um sistema desse tipo, eventuais rupturas poderão envolver trechos do maciço isentos de descontinuidades, mobilizando a resistência da própria rocha intacta.
- Estruturas individuais significativas, representadas por falhas, juntas de alívio, planos de acamamento, ou seja, por estruturas de relevante continuidade, capazes de controlar, por si só, o comportamento de um talude.

- Descontinuidades aleatórias, constituídas por planos de fraqueza estrutural de distribuição irregular, reunidos sob a denominação genérica de fraturas.

Todas essas feições devem ser mapeadas, procedendo-se então o clássico levantamento estatístico com o clinômetro-bússola. Um procedimento normalmente realizado, é o levantamento de todas as feições contidas em áreas unitárias, normalmente graduadas ou retangulares. Este método é tido como mais adequado quando na presença de descontinuidades aleatórias, irregularmente distribuídas.

Para a representação desses dados estruturais, o emprego de diagramas de projeção esférica é o mais usual, sendo comumente utilizado o de igual área, também conhecido como projeção de Schmidt-Lambert. A metodologia referente a utilização da projeção estereográfica pode ser encontrada em livros de Geologia Estrutural.

#### Localização e Atitude:

Cada descontinuidade deve ter registrada a sua exata localização e respectiva atitude dada pela sua orientação e respectivo mergulho. Tais informações devem ser assinaladas em mapas ou plantas.

Normalmente, se utilizam diagramas de rosetas, que demonstram a freqüência direcional das descontinuidades e, projeções estereográficas que levam em conta a direção e mergulho da estrutura.

#### Espaçamento:

Corresponde a distância entre duas descontinuidades adjacentes de uma mesma família. É variável o espaçamento entre as descontinuidades que podem ser extremamente espaçadas, como por exemplo superior a 6 m ou extremamente pouco espaçada, com por exemplo com espaçamento inferior a 20 mm.

Não há uma concordância geral com a escala a ser utilizada que pode até ser estabelecida em função das características geológico-estrutural da região em que as massas rochosas se encontram e das características do projeto de engenharia. A Tabela 15 apresenta classes de espaçamento de descontinuidades indicadas pela ABGE (1983).

**Tabela 2.15 - Espaçamento de descontinuidades (ABGE, 1983)**

Siglas	Espaçamento (cm)	Denominações
E <sub>1</sub>	> 200	Muito afastadas
E <sub>2</sub>	60 - 200	Afastadas
E <sub>3</sub>	20 - 60	Medianamente afastadas
E <sub>4</sub>	6 - 20	Próximas
E <sub>6</sub>	< 6	Muito próximas

#### Grau de Fraturamento:

É geralmente determinado por simples contagem de fraturas ao longo de uma direção, utilizando-se normalmente o número de fraturas por metro. Convém não considerar aquelas descontinuidades soldadas por materiais altamente coesivos. Recomenda-se a adoção da escala normalmente utilizada nos trabalhos do IPT de São Paulo.

**Tabela 2.16 - Grau de fraturamento (IPT, 1984)**



Siglas	Fraturas/m	Denominações do Maciço
F <sub>1</sub>	< 1	Ocasionalmente fraturado
F <sub>2</sub>	1 a 5	Pouco fraturado
F <sub>3</sub>	6 a 10	Medianamente fraturado
F <sub>4</sub>	11 a 20	Muito fraturado
F <sub>5</sub>	> 20	Extremamente fraturado ou fragmentado

Persistência ou continuidade:

Refere-se a extensão areal ou tamanho da descontinuidade num plano. A dificuldade é constatar sua persistência para dentro do maciço rochoso, já que para tal determinação, requisita-se uma visão tridimensional. Praticamente este parâmetro só pode ser avaliado verificando-se a extensão do traço do plano da fratura na superfície exposta. Se considera importante sua determinação em alguns projetos de engenharia face a sua influência na resistência ao cisalhamento dos maciços rochosos.

Entretanto, a experiência geológica permite deduzir que tratando-se de conjuntos de fraturas de origem tectônica, sua persistência deve ser grande no maciço rochoso. Considera-se como de grande persistência se sua extensão é superior a dezenas de metros e pequena, quando sua extensão não exceder a 3 m. A Tabela 17 apresenta classes de persistência indicadas por Bieniawski (1989).

**Tabela 2.17 - Comprimento da descontinuidade (L) ( Bieniawski, 1989)**

Classificação	Comprimento
Muito curta	$L < 1$ m
Curta	$1 \leq L < 3$ m
Moderada	$3 \leq L < 10$ m
Longa	$10 \leq L < 20$ m
Muito longa	$L > 200$ m

Rugosidade ou irregularidades:

Corresponde a ondulações e as asperezas nas superfícies das descontinuidades, quando se procura avaliar sua importância na resistência ao cisalhamento.

A rugosidade de uma descontinuidade é produzida por ondulações que é uma irregularidade de primeira ordem e as asperezas, também rugosidade sensu lato, de segunda ordem. Caso se verifique a presença de estrias e polimento na superfície da descontinuidade, evidenciando movimentações, tal plano é um “slickensided” ou espelho de falha, que também apresenta ondulações e rugosidades.

Piteau (1970) propõe que as ondulações sejam registradas em função de sua amplitude e comprimento e que para as rugosidades se utilize uma escala de classificação que vai da categoria 1 - superfície estriada e polida, a categoria 5 - superfície muito irregular.

Convém assinalar que a escala de observação e medição das ondulações é métrica e das rugosidades milimétrica, sendo estas últimas classificadas através do ângulo formado pela irregularidade com a horizontal. Também pode ser classificada pelo seu perfil geométrico como o apresentado por Barton et al (1974).

Abertura:

É a distância perpendicular entre as paredes de uma descontinuidade aberta, onde o espaço intermediário está preenchido por ar ou água. A abertura é causada por inúmeros fatores, tais como lavagem do material de preenchimento e/ou dissolução, e a descrição do tamanho da abertura é importante porque ela influencia na resistência ao cisalhamento e na condutividade hidráulica da

descontinuidade. O tamanho da abertura pode variar de 0, tida como fechada a mais de 200 mm, considerada muito larga. A Tabela 18 apresenta classes de abertura de descontinuidades indicadas por Bieniawski (1989).

**Tabela 2.18 - Abertura da descontinuidade (A) (Bieniawski, 1989).**

Classificação	Abertura
Fechada	
Pequena	$A < 2 \text{ mm}$
Moderada	$2 \leq A \leq 20 \text{ mm}$
Larga	$20 \leq A < 100 \text{ mm}$
Muito larga	$A > 100 \text{ mm}$

Preenchimento:

É o material diferente entre as paredes da descontinuidade que pode ter sido transportado para dentro da descontinuidade ou ter sido formado in situ, como por exemplo ter sido formado pela ação de intensa decomposição ao longo da junta. Normalmente são menos resistentes que a rocha matriz. A Tabela 19 apresenta classes de preenchimento indicadas por Bieniawski (1989).

**Tabela 2.19 - Preenchimento (Bieniawski, 1989).**

Preenchimento	Espessura
Nenhum	
Preenchimento duro	$< 5 \text{ mm}$ espessura
Preenchimento duro	$\geq 5 \text{ mm}$ espessura
Preenchimento mole	$< 5 \text{ mm}$ espessura
Preenchimento mole	$\geq 5 \text{ mm}$ espessura

Preenchimentos típicos são formados por material caulinizado, argilas, limonita, calcita, sílica e no caso da fratura ser uma falha, a presença de gouge ou brecha de falha pode ser assinalada. A Tabela 19 apresenta tipos de superfície e preenchimentos proposto pelo IPT (1984).

**Tabela 2.20 - Tipos de superfície e preenchimento de descontinuidades (IPT, 1984).**

Sigla	Superfície das descontinuidades
D <sub>1</sub>	Contato rocha-rocha, paredes sãs
D <sub>2</sub>	Contato rocha-rocha, presença de material pétreo rijo: Ca-calcita ou Si-sílica
D <sub>3</sub>	Paredes com alteração incipiente, sinais de percolação d'água, preenchimento ausente
D <sub>4</sub>	Paredes alteradas, preenchimento ausente
D <sub>5</sub>	Paredes alteradas, com preenchimento ag1 - preenchimento argiloso com espessura de 1 mm gr10 - preenchimento granular com espessura de 10 mm

Surgência de água:

Sua presença ao longo da descontinuidade é frequentemente de grande importância nas avaliações geotécnicas da massa rochosa e merece uma cuidadosa avaliação na respectiva descrição. A quantidade de água percolando a descontinuidade pode ser sazonal o que implica diversas observações durante um período de tempo, normalmente considerando as estações úmidas e secas.

Tais observações podem auxiliar significativamente no conhecimento hidrogeológico da massa rochosa. A Tabela 21 apresenta condições de água na descontinuidade segundo Bieniawski (1989).

**Tabela 2.21 - Condição de água na descontinuidade (Bieniawski, 1989).**

1	Seca
2	Úmida
3	Molhada
4	Gotejante
5	Fluindo

## Ensaio para caracterização de Maciços Rochosos

### Caracterização Petrográfica

Executada em laboratório através da descrição macro e microscopia em seções delgadas, ensaios granulométricos e análises químicas.

As análises petrográficas, identificam as litologias, caracterizam a mineralogia, texturas e estruturas e, concomitantemente a microfissuração que exerce grande influência no comportamento mecânico nos materiais rochosos e suas propriedades. Procedimentos concernentes são indicados na NBR 7389 e na NBR 7390.

### Propriedades Índices

Compreendem basicamente o teor de umidade, a porosidade, a massa específica, a absorção d'água, a expansão e o desgaste a úmido. A caracterização destas propriedades é feita essencialmente através de ensaios em laboratório. Os procedimentos para execução e análises referentes são detalhados em Brown (1981).

### Propriedades Mecânicas

São aquelas que interessam ao estudo da resistência ao cisalhamento, a deformabilidade e as tensões naturais. São determinadas através de ensaios *in situ*, em furos de sondagens e em laboratório. São os seguintes os principais ensaios (Tabela 22):

**Tabela 2.22 - Ensaio**

Ensaio	Descrição
Ensaio de compressão puntiforme	Fornecem um índice de resistência, correlacionável a compressão uniaxial
Ensaio de compressão uniaxial	Fornecem a resistência a ruptura, o coeficiente de Poisson e o módulo de deformabilidade
Ensaio de compressão triaxial	Fornecem a resistência e a deformabilidade sob determinada pressão de confinamento, bem como a resistência ao cisalhamento
Ensaio de cisalhamento <i>in situ</i> ou em laboratório	Fornecem a resistência ao cisalhamento, principalmente de descontinuidades
Ensaio de deformabilidade, <i>in situ</i> , através de dilatômetro, macacos planos, etc	Fornecem o módulo de deformabilidade e características de fluência

### Propriedades Hidráulicas

Nos maciços rochosos as descontinuidades mostram-se determinantes, no condicionamento do fluxo d'água e permeabilidade do meio. A condutividade hidráulica ou permeabilidade das massas rochosas pode ser determinada através de ensaios de perda d'água sob pressão.

## Retroanálise

Muito utilizada nos estudos de estabilidade de taludes, compreendendo, o estudo das condições em que se deu determinada ruptura.

## Classificações Geomecânicas

Apesar de existirem inúmeras classificações na bibliografia especializada, atualmente apenas as classificações de Barton et al (1974), denominada *Sistema Q* e a de Bieniawski (1974, 1984), denominada de *Sistema RMR* (Rock Mass Rating), originalmente empregadas em projetos de túneis, são habitualmente utilizadas.

### - Sistema RMR

A Classificação Geomecânica de Bieniawski, fornece uma avaliação geral da massa rochosa (RMR), crescendo progressivamente com os atributos do maciço rochoso de 0 a 100. Ela está baseada em cinco parâmetros universais: Resistência da rocha, RQD (Rock Quality Designation), condições da água de subsuperfície, espaçamento entre as descontinuidades, características das descontinuidades e, orientação das descontinuidades. Incrementos na avaliação da massa rochosa, correspondentes a cada parâmetro, são somados para a determinação do RMR.

O parâmetro RQD, introduzido por Deere et al (1967), indica a qualidade do meio rochoso, a partir das condições de um testemunho de sondagem rotativa, sendo obtido através da expressão:

$$RQD = \left( \sum p/n \right) \times 100$$

onde:

$p$  = o comprimento das peças da rocha são superior a 10 cm.

$n$  = a extensão total da manobra de perfuração num determinado trecho.

Este critério é aplicado em testemunho de sondagem rotativa, com barriletes duplo-livres e de diâmetro mínimo NW (55 mm), e somente para rocha dura ou medianamente dura. Dessa forma, o índice RQD é condicionado pelo espaçamento das descontinuidades e pela presença de rocha alterada. Quando esta não existe, há uma relação estreita entre RQD e grau de fraturamento. No Brasil, às vezes se utiliza o IQR (Índice de Qualidade da Rocha), basicamente com os mesmos critérios do RQD, porém, ao invés da manobra, considera trechos em que o espaçamento das descontinuidades é homogêneo, e o comprimento mínimo é de 0,5 m.

Segundo Bieniawski (1989), o sistema RMR, tem, entre outros, os seguintes objetivos:

- Caracterizar os parâmetros condicionantes do comportamento dos maciços rochosos;
- Compartimentar determinada formação rochosa em classes de maciço com atributos distintos;
- Fornecer parâmetros para o entendimento das características de cada classe de maciço;
- Fornecer dados quantitativos para o projeto geomecânico.

### - Sistema Q

Introduzido por Barton *et al.* (1974), também chamado de Sistema NGI (Norwegian Geotechnical Institute), combina seis parâmetros numa função multiaplicativa:

$$Q = (RQD / J_n) \times (J_r \times J_a) \times (J_w / SRF)$$

onde:

$J_n$  = relaciona-se com o nº de famílias de descontinuidades.

$J_r$  = relaciona-se com a rugosidade das mais importantes descontinuidades.

$J_a$  = relaciona-se com a condição de alteração das paredes das discontinuidades e/ou seu preenchimento.

$J_w$  = relaciona-se com a influência da ação da água subterrânea.

$SRF$  = índice de influência do estado de tensões no maciço no entorno da cavidade (Stress Reduction Factor)

Valores numéricos são determinados para cada parâmetro do sistema Q, segundo a descrição detalhada encontrada no artigo de Barton *et al.* (1974), bem como as classes qualitativas de massas rochosas segundo o valor total de Q.

O sistema Q e o sistema RMR, incluem alguns parâmetros distintos e por isso não podem ser estritamente correlacionados.

Maiores informações sobre essas classificações geomecânicas, além das publicações dos autores, recomenda-se o artigo de Serra Jr. e Ojima (1998) e o livro-texto “Introduction to Rock Mechanics”, de Richard Goodman (1989).

## **Legenda para mapas, plantas e perfil geológico- geotécnico**

### **Símbolos geológicos**

Recomenda-se os símbolos listados na tabela para as principais litologias comumente encontrados no Município do Rio de Janeiro. Os símbolos estão baseados nos apresentados pela Geological Society (1972) com algumas alterações. (Figura 18a,18b e 19)

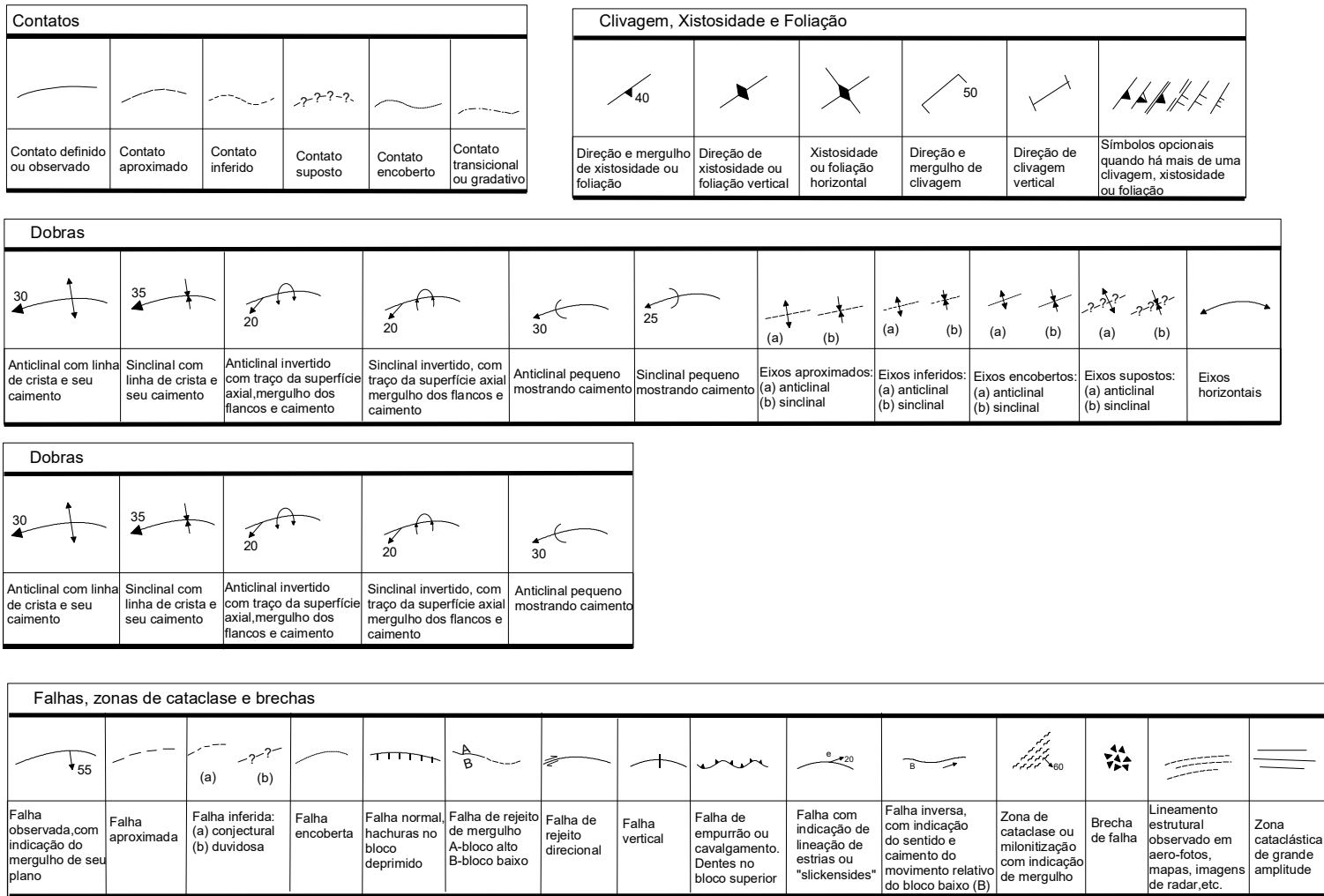




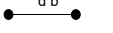
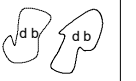



Figura 2.18 - Símbolos geológicos

Juntas			
			
Direção e mergulho de juntas	Direção de junta vertical	Junta horizontal	Direção e mergulho de sistemas múltiplos

Símbolos para rochas ígneas										
$\gamma$	$\sigma$	$\tau$	$\lambda$	$y$	$\alpha$	$\epsilon$	$\beta$	$\pi$	$\theta$	$\delta$
Intrusivas ácidas	Intrusivas intermediárias	Intrusivas básicas	Intrusivas alcalinas	Intrusivas ultrabásicas	Extrusivas ácidas	Extrusivas intermediárias	Extrusivas básicas	Extrusivas alcalinas	Vulcânicas	Metavulcânicas

Representação de diques		
		
Dique com indicação do tipo litológico (db - diabásico)	Dique de contato mapeável	Dique indiscriminado








Símbolos para seções geológicas						
						
Falha normal	Falha vertical	Falha inversa	Supra-cavalgamento ("overthrust")	Infra-cavalgamento ("underthrust")	Klippe	Janela estrutural ("Fenster")

Figura 2.19 - Símbolos geológicos (Continuação)

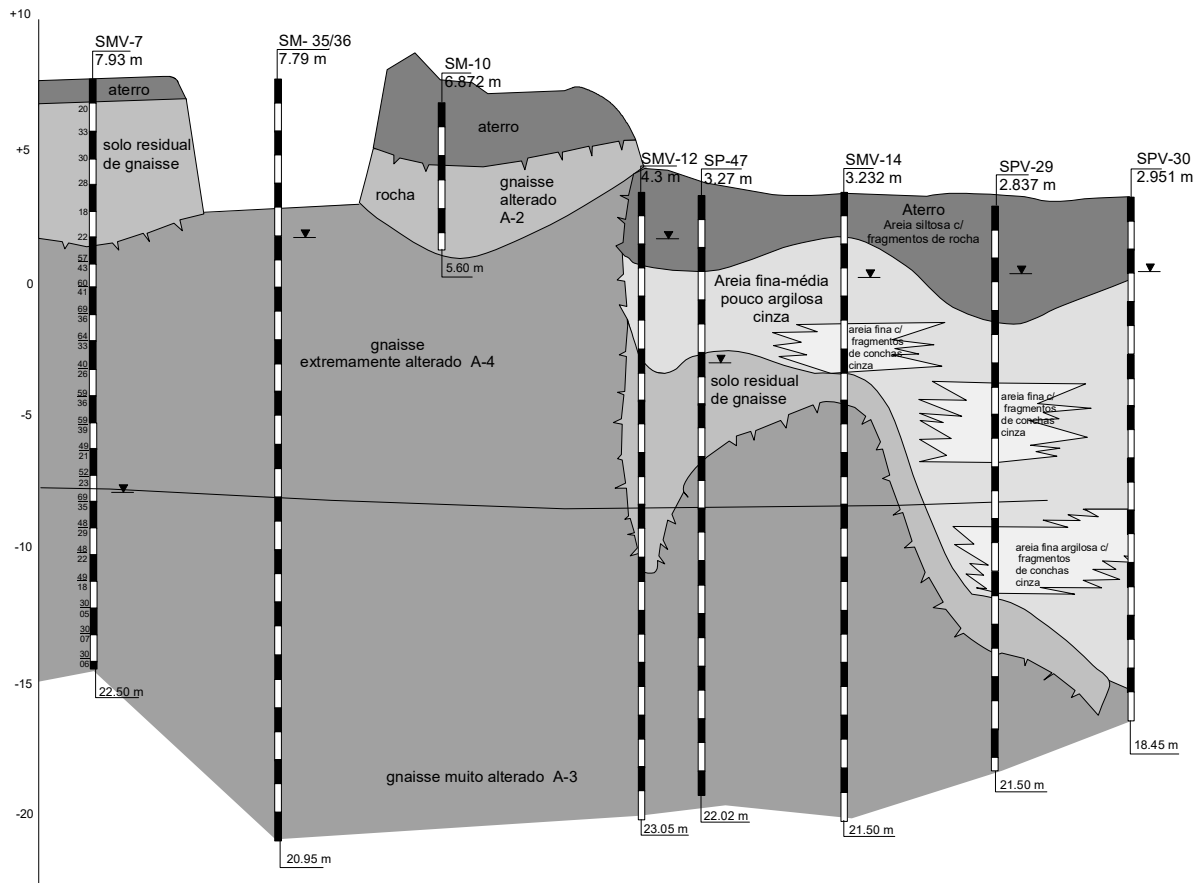


Figura 2.20 - Perfil geológico- geotécnico



## Anexo 1 – Litotipos gnáissicos e ígneos



Leptinito



Plagioclásio gnaisse ou Gnaiss Archer



Gnaiss Facoidal



Kingizito (corte perpendicular a foliação)



Metagabro



Biotita Gnaiss bandado com níveis de leptinito



Granito Favela  
magmático



Granito Porfírico Pedra Branca, com estrutura de fluxo



Sienito nefelítico



Diabásio

## 3. MOVIMENTOS DE MASSA

---

H Penha

### Introdução

Movimentos de massa têm importância como agentes atuantes na evolução das encostas, e pelas implicações econômico-sociais resultantes dos processos de risco.

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos, abordagens e metodologias referentes a avaliação desses fenômenos geológicos, considerando-se o cenário ambiental do Rio de Janeiro.

### Classificação

São inúmeros os sistemas classificatórios de movimentos gravitacionais de massa, sendo os mais recentes baseados nos seguintes critérios: (Augusto-Filho (1995) e Augusto-Filho e Virgili (1998)

- a) *Cinética do movimento* - definida pela relação entre a massa em movimentação e o terreno estável (velocidade, direção e seqüência dos deslocamentos).
- b) *Tipo do material* - solo, rocha, detritos, depósitos, etc..., destacando a sua estrutura, textura e conteúdo de água.
- c) *Geometria* - tamanho e forma das massas mobilizadas..
- d) Modalidade de deformação do movimento.

Entre os trabalhos que tratam de forma completa a evolução, os critérios, as restrições e outros aspectos importantes dos sistemas classificatórios, destacam-se os de Varnes (1958, 1978), Hutchinson (1968), Guidicini e Nieble (1974), Turner e Sehuster (1996). A classificação proposta por Varnes (1978) é a mais utilizada internacionalmente, sendo adotada pela IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) (Tabela 3.1 e Tabela 3.2).

Tabela 3.1 - Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978)

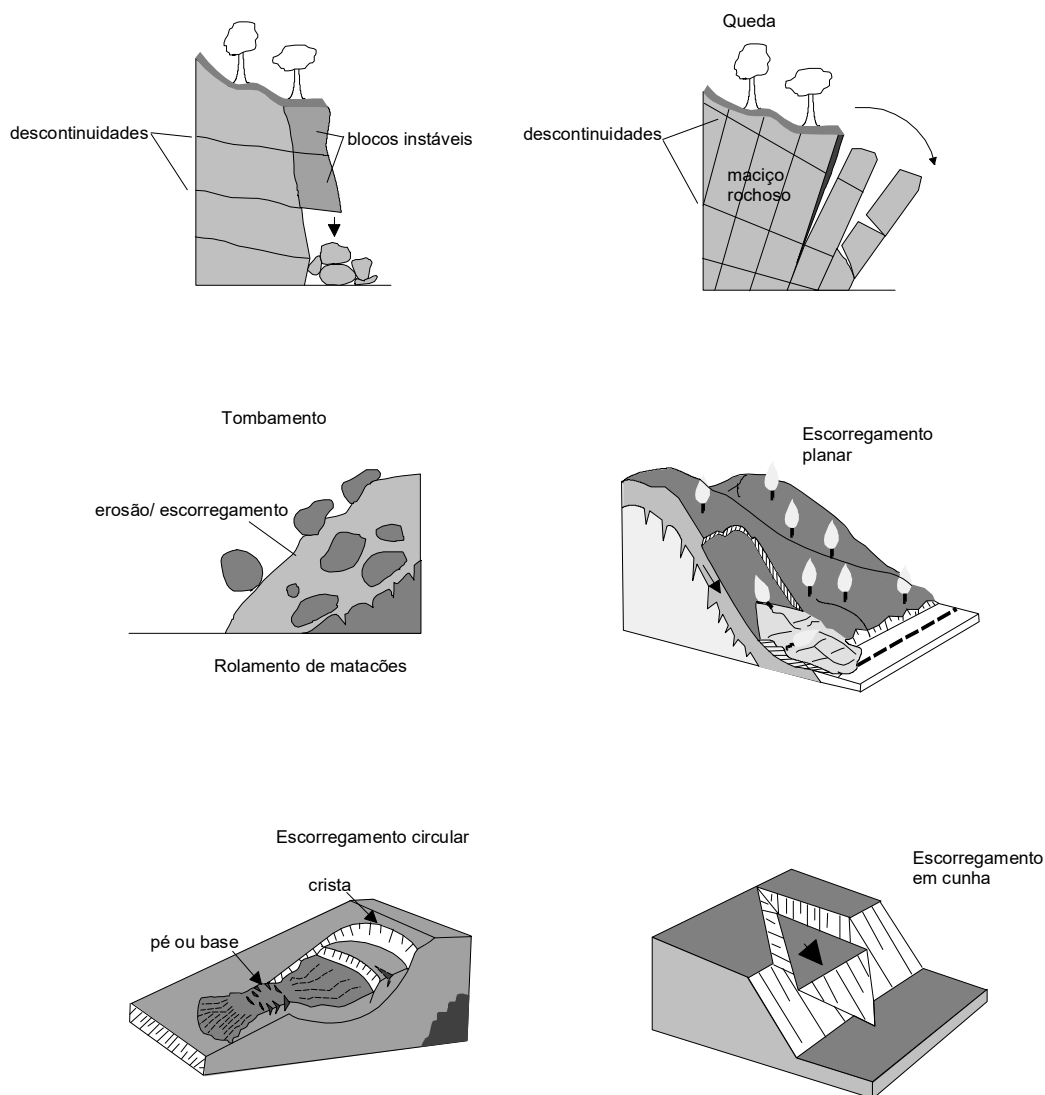
Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosseiro	Fino
Quedas			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos			de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha de blocos rochosos de rocha	Abatimento de Detritos de Blocos de Detritos de Detritos	Abatimento de Terra de Blocos de Terra de Terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/escoamentos			de rocha (rastejo profundo)	de detritos	de terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

A classificação dos movimentos de encosta (Varnes ,1978) ajustada às características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento, na dinâmica ambiental brasileira é apresentada por Augusto-Filho (1992). (Tabela 2)

**Tabela 3.2 - Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto-Filho, 1992)**

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (km/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares ⇒ solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares ⇒ solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha ⇒ solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Nestas classificações, os movimentos de massa são agrupados na concepção de Hutchinson (1968) em: Rastejos ou fluência; Escorregamentos; Quedas e Corridas ou fluxos. (Figura 1)



**Figura 3.1 - Queda, Tombamento de blocos, rolamento de matacões e principais tipos de escorregamentos**

Cada um destes grandes grupos admite subdivisões, principalmente os escorregamentos e as corridas, existindo extensas classificações e terminologia específicas para cada um deles .

No inventário dos escorregamentos do Município do Rio de Janeiro, proposto por Amaral (1996), adota-se a classificação de escorregamento do Glossário Multilíngue de Escorregamentos (WLI, 1993).

Tipos de escorregamentos indicados:

- *Queda*: Separação de uma massa ao longo de uma superfície sob o efeito da gravidade.
- *Deslizamento*: Movimento de massas ao longo de uma superfície de ruptura bem definida.
- *Corrida*: Ampla gama de movimentos semelhantes a um fluxo viscoso, com velocidade e teor de umidade variável.

Quanto ao material deslizado eles são subdivididos em:

- Rocha
- Solo Residual
- Tálus/Colúvios
- Lixo
- *Massa de detritos*, uma combinação de materiais de diferentes granulometria e gênese variada.

### **Classificação dos tipos de instabilidade de encosta no Rio de Janeiro**

Nunes et al (1979), dividiram os deslizamentos nas encostas cariocas em:

- Movimentos de lascas e blocos rochosos imersos em solo residual.
- Movimentos envolvendo predominantemente solo residual com plano de ruptura sobre superfície de rocha.
- Movimentos envolvendo rocha alterada e complexos coluvionares devido a chuvas excepcionais.

Esta classificação espelha a natureza do material e o condicionante geológico envolvidos em deslizamentos, baseados em conhecimentos de detalhe de alguns acidentes na cidade.

Uma classificação de instabilidade nas encostas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro é apresentada por Antunes e Barroso (1988):

Em Rocha

Escorregamentos causados por:

- estados diferenciados de alteração;
- diáclases com extensões, mergulhos, direções, espaçamento e preenchimentos diversos;
- xistossidade de direções e mergulhos diversos;
- esfoliação esferoidal;
- formação de lascas de origem térmica;
- superfície de alívio de tensões;
- heterogeneidades litológicas.

Raramente a instabilidade é fruto da influência isolada de uma das descontinuidades do quadro acima; o normal é a conjugação de duas ou mais descontinuidades constituindo fatores predisponentes ao escorregamento. Exemplos:

- No Maciço da Tijuca: Alto do Sumaré, a montante da Clínica Santa Genoveva (1988); em Petrópolis: Morin (1988) e diversos outros na BR-040.

Em tálus

Escorregamentos causados por grandes variações de pressão da água infiltrada, nos períodos de alta pluviometria, provocadas por formas diversas de infiltração e ação no contato impermeável com a rocha ou com o solo residual. Exemplos:

- No Maciço da Tijuca: Clínica Santa Genoveva e Estrada do Soberbo (1988), Comendador Martineli e Soberbo (1966); na BR-101, diversos escorregamentos em anos diversos; em Petrópolis: Morin (1988) e BR-040 (1983).

Outra forma de instabilidade em tálus reside no descalçamento de blocos isolados e rolamento encosta abaixo.

#### Em solo Residual

As instabilidades mostram, com freqüência, estreita correlação com as características mineralógicas, texturais, estruturais e de espessura do horizonte C (solo residual jovem). O dos gnaisses facoidais ou semifacoidais, leptinitos e granitos, de texturas grosseiras, areno-argilosos, pouco micáceos e homogêneos, são os mais estáveis. Em razão das descontinuidades remanescentes da rocha matriz, principalmente xistosidades e heterogeneidades litológicas, os solos residuais jovens dos migmatitos e dos biotita gnaisses são mais falíveis à instabilidade, via de regra deflagrada por processos erosivos superficiais ou em subsuperfície que levam ao solapamento do terreno. São ainda casos de macro descontinuidades em solo, entre os mais freqüente.

- solo coluvial (solo residual maduro - horizonte B) em passagem brusca para o solo residual jovem (horizonte C).
- solo coluvial assentado diretamente sobre rocha.
- solo litólico (horizonte A) assentado diretamente sobre rocha.

Exemplos: são os casos mais freqüentes e de mais larga distribuição no Grande Rio, principalmente em estradas (por má drenagem) e em favelas (cuja causa maior é uma sucessão, encosta acima, de cortes e aterros, não drenados, para construção de platôs onde se instalam os casebres).

#### Em Solo + Rocha

É também comum, está geralmente associado a uma cobertura de solo coluvial assentado diretamente sobre camada de rocha fraturada e decomposta, individualizada por junta de alívio de tensões. O contato entre a camada de rocha superior com a rocha sotoposta, bem menos alterada ou quase sã, faz-se segundo superfície praticamente contínua e impermeável que acompanha a forma do maciço. Nos períodos de altas precipitações, as pressões da água infiltrada acabam por instabilizar todo o pacote acima da rocha sã ou pouco alterada. Exemplos:

- No Maciço da Tijuca: Estrada da Vista Chinesa (1988); em Petrópolis: Alto da Serra - Rua Lopes Trovão (1988).

#### Em blocos in situ

Os blocos representam remanescentes não diaclasados, quase inalterados, de setores diaclasados de maciços rochosos, constituídos por rochas praticamente isotrópicas ou núcleos graníticos, anteriormente envolvidos por litologias de alterabilidade bem maior, muito comuns nos migmatitos heterogêneos do Grande Rio. São blocos arredondados facilmente instabilizados pelos processos erosivos. Exemplos: muito comuns no

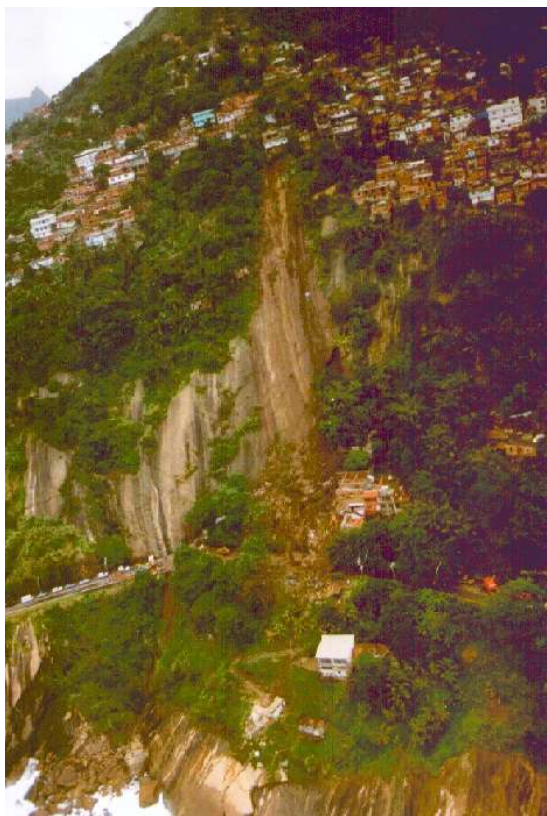
Maciço da Pedra Branca, na Estrada Grajaú-Jacarepaguá e em maciços e serras isolados da Zona Norte do Rio de Janeiro.

#### Depósitos de Lixo

É praxe o lançamento de lixo e entulho nas encostas, em geral pelas comunidades carentes e por transportadores autônomos que despejam entulhos de obras de demolição ao longo de ruas e estrada à meia encosta. O lixo passa a ser então um componente, instável, da encosta. Exemplos: Favela do Morro Pavãozinho (1983) e Favela do Morro Santa Marta (1988).

Para o município do Rio de Janeiro, Amaral (1996), apresenta os principais tipos de escorregamentos :

A - Queda de Lascas ou Blocos de Rocha ou Solo Residual: Estes movimentos envolvem a separação de uma massa rochosa sã a pouco alterada ou placa de solo residual, ao longo de uma superfície por efeito da gravidade. Ex.: Vidigal, 1993, Figura 2



**Figura 3.2 - Queda de blocos e lascas – Encosta do Vidigal, 1993 (foto Geo Rio)**

B - Deslizamentos de Solo Residual, Depósitos de Tálus/Colúvio e Lixo: Envolvem o movimento de massa terrosa ou detrítica ao longo de uma superfície de ruptura no interior de zonas sujeitas a acentuada tensão de cisalhamento. Esta categoria envolve predominantemente os movimentos rasos e com superfície de ruptura paralela à superfície da rocha, mas também aqueles mais profundos, com superfície de ruptura circular. Representa o tipo de processo de instabilidade que predomina nas encostas do Rio de Janeiro. Ex.: Rua Capuri, São Conrado, 1996 Figura 3.





**Figura 3.3 - Deslizamento de solo residual - São Conrado, 1996 (foto Geo Rio)**

C - Corridas de Solo Residual, Tálus/Colúvio e Lixo: São movimentos similares a um fluxo viscoso, contínuos espacialmente, que ocorrem ao longo de drenagens naturais ou como consequência de escavações hidráulicas (erosão intensa) na crista de taludes escavados. Ex.: Pavão-Pavãozinho, 1983, Figura 4.





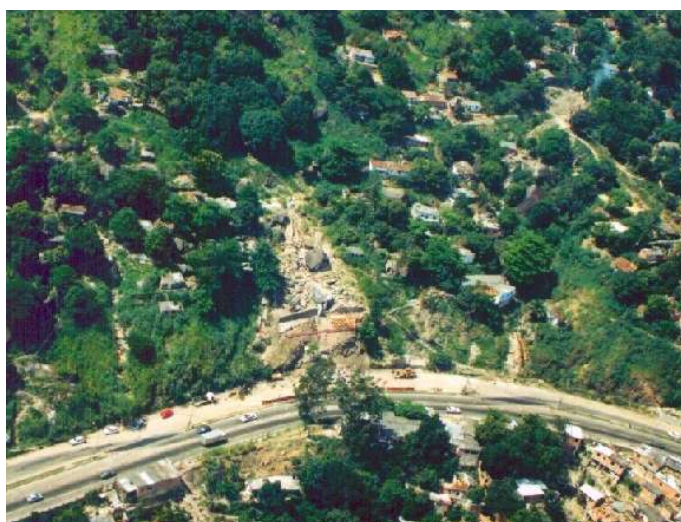
**Figura 3.4 - Corridas de Solo Residual e lixo - Pavão-Pavãozinho, 1983 (foto Geo Rio)**

D - Deslizamentos de Solo Residual, Tálus ou Colúvio seguidos de Corrida de Massas de Detritos: Envolvem aqueles movimentos onde a parte superior desliza translacional ou rotacionalmente e a parte inferior flui como um líquido viscoso, englobando materiais diferentes (rocha, terra e detritos). Ex.: Quitite, Jacarepaguá , 1996, Figura 5.



**Figura 3.5 - Deslizamentos e corrida de detritos - Quitite, Jacarepaguá – 1996 (foto Geo Rio)**

E - Corridas de Solo Residual ou Tálus/Colúvio, seguidas de Deslizamentos de Queda de Rocha: Envolvem aqueles movimentos de escavação hidráulica em perfis de intemperismo expostos à erosão acelerada ou depósitos de encostas, os quais levam a instabilização de massas rochosas. Esta categoria engloba aqueles movimentos nos quais a erosão da matriz fina é seguida de queda de blocos rochosos. É importante notar que o primeiro movimento que leva ao desequilíbrio de blocos rochosos, pode ser também um movimento complexo. Ex.: Estrada Grajaú-Jacarepaguá , 1996, Figura 6.



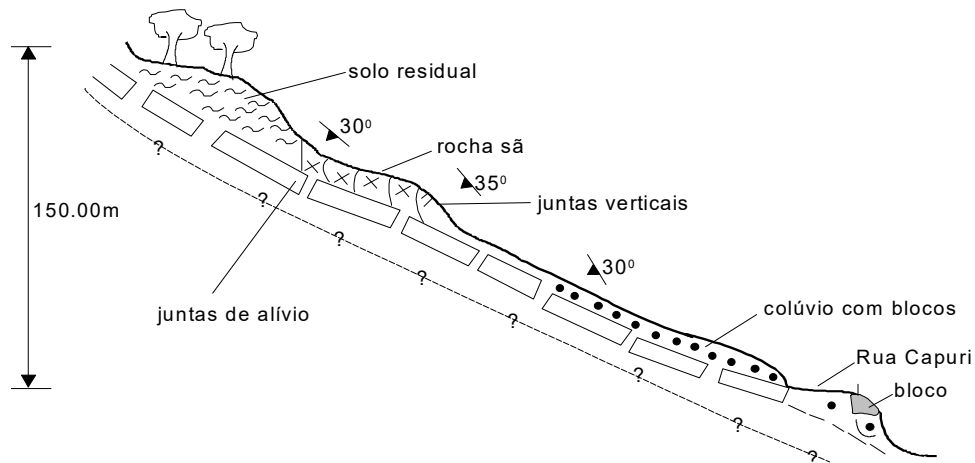
**Figura 3.6 - Corridas de solo residual e deslizamentos de rocha - Estrada Grajaú-Jacarepaguá, 1996 (foto Geo Rio)**

A distinção entre corridas e deslizamentos nem sempre é fácil, por vezes a origem de uma corrida é representada por um típico deslizamento, o que pode indicar que toda corrida é na verdade um movimento complexo.

As corridas do Inventário do Rio de Janeiro, (Amaral, 1996) estão associadas unicamente à concentração excessiva do fluxo superficial em algum ponto ou seção de encosta e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso.

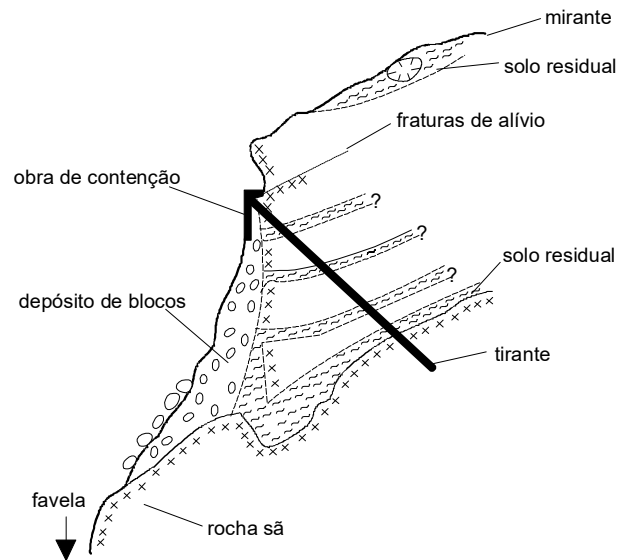
Considera-se que os escorregamentos no Rio de Janeiro envolvem materiais extremamente heterogêneos, incluindo solos residuais com estruturas reliquias, blocos rochosos in situ integrantes de formações residuais e coluviais, depósitos de encostas cuja diferenciação dos solos residuais é complexa e depósitos de lixo misturados a aterros e a materiais naturais.

Perfis esquemáticos de alguns dos principais tipos de escorregamentos no Rio de Janeiro (Figuras 7, 8, 9, 10 e 11) e condicionantes relacionadas, com base no trabalho de Amaral (1996):



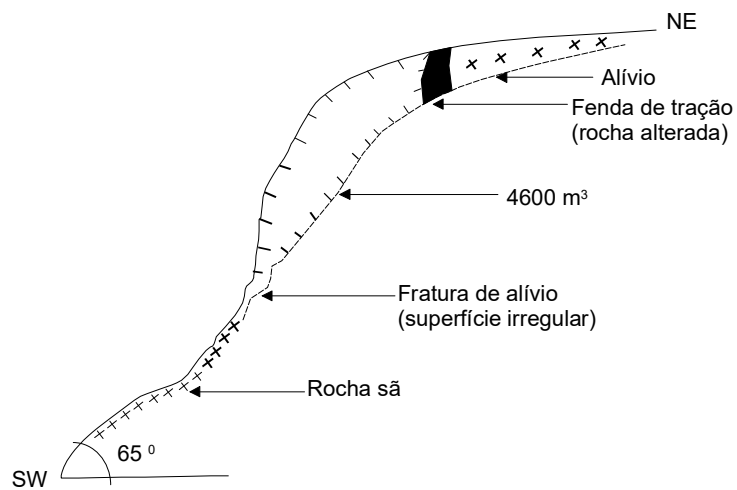
**Figura 3.7 - Perfil geológico esquemático da encosta da Rua Capuri, São Conrado**

- Deslizamento planar raso, no contato abrupto solo residual-rocha, representativo do tipo de processo de instabilidade que predomina nas encostas do Rio de Janeiro . (Figura 7)



**Figura 3.8 - Encosta do Morro Santa Marta**

- Conjunção de planos de juntas de alívio com superfície de falha . (Figura 8)



**Figura 3.9 - Perfil geológico esquemático da encosta a montante da Clínica Santa Geneveva**

- Ruptura de matacão rochoso, controlada por fratura de alívio . (Figura 9)

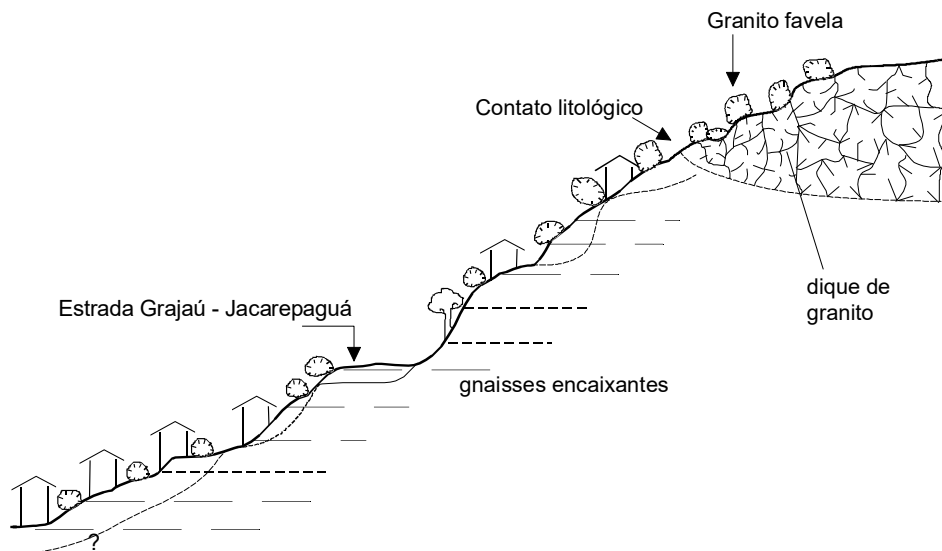


Figura 3.10 - Perfil geológico esquemático da encosta da estrada Grajaú-Jacarepaguá

- Deslocamento de blocos derivados de um dique do Granito Favela . (Figura 10)

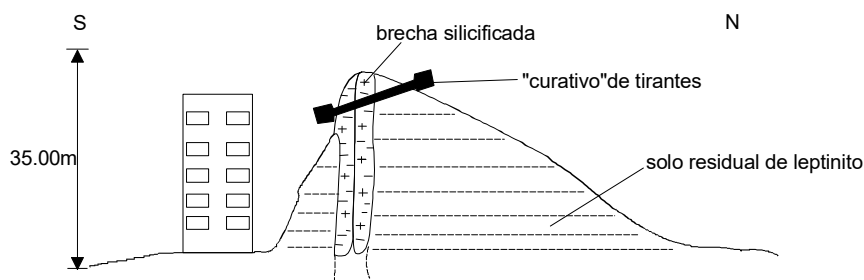


Figura 3.11 - Brecha de falha saturada ocasionando instabilidade na encosta. Rua Almirante Salgado, Laranjeiras

- Instabilidade da encosta, relacionada ao grau de alteração/fraturamento de uma brecha tectônica silicificada no leptinito . (Figura 11)

## Fatores que controlam os movimentos de massa

### Condicionantes Geológicas e Geomorfológicas

De acordo com Fernandes e Amaral (1996), várias feições geológicas e geomorfológicas podem atuar como fatores condicionantes de escorregamentos, determinando a localização espacial e temporal dos movimentos de massa nas condições de campo. Se destacam, segundo estes autores, as seguintes feições:

- Fraturas*, tanto de origem tectônica como atectônicas. Representam importantes discontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos.
- Falhas*, que tem um papel destacado no condicionamento dos movimentos de massa. Como as juntas afetam a dinâmica hidrológica, favorecem o intemperismo e quando silicificadas, geram uma barreira ao fluxo d'água pela impermeabilização do plano de falha.

- c) Foliação e Bandamento Composicional - A orientação da foliação e/ou bandamento composicional influenciam diretamente a estabilidade das encostas em áreas onde afloram rochas metamórficas. De um modo geral a literatura ilustra tal fato, chamando atenção para a situação desfavorável onde a foliação e/ou bandamento, mergulham para fora da encosta em cortes de estrada.
- d) Descontinuidades no Solo - Várias descontinuidades podem estar presentes dentro do saprólito e do solo residual. Estas incluem principalmente, feições estruturais relíquias do embasamento rochoso (fraturas, falhas, foliação, bandamentos, etc.) e horizontes de solo formados por processos pedogenéticos. Elas podem atuar de modo decisivo no condicionamento da distribuição das poro-pressões no interior da encosta e, conseqüentemente na sua estabilidade. A presença de fraturas relíquias além de favorecerem o avanço do intemperismo mais rapidamente que na massa saprolítica não fraturada, podem até condicionar escorregamentos.

O tipo de movimento de massa a ser gerado em encostas constituídas por solos saprolíticos pode estar diretamente relacionado às características originais das fraturas relíquias. Escorregamentos rotacionais podem predominar em encostas onde as fraturas no embasamento rochoso se encontram pouco espaçadas, fazendo com que o saprólito se comporte como um material granular. Escorregamentos translacionais podem predominar em encostas com juntas relíquias originadas a partir da alteração de fraturas de alívio de tensão ou mesmo a partir de bandas composicionais.

Muitas vezes, os movimentos de massa podem ter o plano de ruptura condicionado por descontinuidades hidráulicas existentes no interior do solo saprolítico, do solo residual, ou mesmo no contato entre os dois. Tal fato pode também ocorrer em encostas onde o solo saprolítico encontra-se recoberto por um manto coluvial pouco espesso. Geralmente a condutividade hidráulica no saprólito tende a ser maior do que aquela no manto coluvial sobrejacente. Conseqüentemente, podem se desenvolver verdadeiras descontinuidades hidráulicas na passagem manto coluvial-saprólito, ou mesmo dentro do saprólito, o qual atua como um dreno para os horizontes mais superficiais.

- e) Morfologia da Encosta - A morfologia de uma encosta, em perfil e em planta, pode condicionar tanto de forma direta ou indireta, a geração de movimentos de massa. A atuação direta é dada pela tendência de correlação entre a declividade e a frequência dos movimentos, embora mapeamentos de campo revelam, no entanto, que o maior número de escorregamentos não ocorre, necessariamente, nas encostas mais íngremes. A atuação indireta está relacionada ao papel que a forma da encosta, principalmente em planta, exerce na geração de zonas de convergência e divergência dos fluxos d'água superficiais e subsuperficiais.
- f) Depósitos de Encosta - Tais depósitos, tanto na forma de tálus como de colúvio, estão diretamente relacionados as zonas de convergência na morfologia descrita anteriormente. A combinação forma-material faz com que os depósitos de encosta assumam grande importância como condicionantes de movimentos de massa. Em geral, uma das principais características desses materiais é a grande heterogeneidade interna, a qual é resultante direta da descontinuidade espacial e temporal dos processos formadores desses depósitos. Muitos depósitos de encosta repousam diretamente sobre rocha sã, gerando uma descontinuidade mecânica e hidrológica ao longo desse contato. A drástica diminuição da condutividade hidráulica nesse contato favorece a geração de fluxos d'água subsuperficiais, com forte componente lateral. Ao longo desse contato, condições críticas de poro-pressão positiva podem ser alcançadas durante eventos

pluviométricos de alta intensidade, favorecendo a geração de escorregamentos translacionais.

### Mecanismos de Deflagração dos Escorregamentos

Mecanismos deflagradores dos escorregamentos são indicados na literatura especializada, como os apresentados por Guidicini e Niebli (1984), Tabela 3 e por Varnes (1978), Tabela 4.

**Tabela 3.3 - Agentes e causas dos escorregamentos (Guidicini e Nieble, 1984)**

Agentes			Causas		
Predispon entes	Efetivos		Internas	Externas	Intermediárias
	Preparatóri os	Imediato s			
Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climatohidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação.	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação da temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do freático, ação de animais e antrópica.	Chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.	Efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	Mudanças na geometria do sistema, efeitos de vibrações, mudanças naturais na inclinação das camadas.	Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”, elevação da coluna de água em descontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva (piping), diminuição do efeito de coesão aparente.

**Tabela 3.4 - Fatores deflagradores dos movimentos de massa segundo Varnes (1978)**

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos/antrópicos
Aumento da sollicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão, escorregamentos Cortes

	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo, etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, etc Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	Água em trincas, congelamento, material expansivo
Redução da resistência	Características inerentes ao material (geometria, estruturas, etc.)	Características geomecânicas do material, tensões
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo □ redução na coesão, ângulo de atrito Elevação do N.A.

Considerando a condição ambiental do Rio de Janeiro, alguns fatores são realçados:

Com relação a água de subsuperfície os principais mecanismos que atuam para a deflagração dos escorregamentos são:

- Formação ou aumento das poropressões que reduzem a resistência ao cisalhamento, podendo levar os taludes à ruptura. O fenômeno está relacionado com a elevação do nível piezométrico em períodos chuvosos.
- Diminuição da coesão aparente em massas de solo, com aumento do grau de saturação, face a variação de permeabilidade através do maciço terroso e formação, conseqüentemente formação de linhas de fluxo subverticais. Esse mecanismo pode levar a ruptura alguns taludes mesmo sem a formação ou elevação do N.A.. Segundo Augusto-Filho e Virgili (1998), esse é o principal mecanismo deflagrador de escorregamentos planares de solo na Serra do Mar, no Litoral Paulista.
- Elevação da coluna d'água em descontinuidades, mais intensa nos maciços rochosos, conduz a diminuição tanto das tensões normais efetivas como podem gerar esforços laterais cisalhantes e assim contribuir na condução do processo de instabilidade.

Com relação às chuvas, é bem conhecida a vinculação entre pluviosidade e escorregamentos, principalmente em períodos de chuvas intensas. Ortigão et al (1997) tratam do assunto com aplicações ao Rio de Janeiro. O capítulo de Instrumentação de Taludes, deste Manual, trata deste tema.



Com relação a cobertura vegetal, são atribuídos efeitos favoráveis e desfavoráveis com relação a estabilidade das encostas como assinalam Gray e Leiser (1982). Mesmo considerando opiniões aparentemente contraditórias, a avaliação global das diferentes teorias indicam que, a longo prazo, a retirada da cobertura vegetal é indiscutivelmente um poderoso fator de instabilização como assinala Gray (1970). Para Prandini *et al.* (1976), de um modo global, a atuação da floresta se dá no sentido de reduzir a intensidade da ação dos agentes do clima no maciço natural, de modo favorável à estabilidade das encostas. Isto se dá através da ação específica dos diversos componentes da cobertura florestal. Tratando-se da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e em particular, da cidade do Rio de Janeiro, que orla o Maciço da Tijuca, Penha (1988) considera que a cobertura florestal atua também como um agente limitador das áreas afetadas por escorregamentos, através do efeito frenador e dissipador de energia das massas deslocadas, restringindo as áreas afetadas e minimizando os danos em terrenos situados à jusante, como ficou exemplificado nas chuvas de fevereiro e março de 1988.

Com relação a ação antrópica, representada pela ocupação e uso do solo, constata-se que o homem vem se constituindo no mais importante agente modificador da dinâmica das encostas.

Nunes et al (1990) e Nakazawa e Cerri (1990) afirmam que mais de 90% dos escorregamentos verificados em Petrópolis (RJ), em 1988, foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas deste município. Para Penha (1990) o processo acelerado de favelização em Petrópolis, levou à destruição da densa cobertura florestal até então existente na maioria das encostas afetadas, repercutindo de forma notável no ecossistema e, conseqüentemente, na estabilidade dos terrenos degradados. Constatou-se também uma relação dos escorregamentos nas áreas favelizadas com zonas de falha de grande magnitude, face a presença de brechas bastante fraturadas, demonstrando já uma certa propensão do maciço rochoso, nas áreas mais afetadas, à instabilização.

As principais modificações oriundas das interferências antrópicas indutoras dos movimentos gravitacionais de massa são Augusto-Filho (1995):

- Remoção da cobertura vegetal.
- Lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas.
- Vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas.
- Execução de cortes com geometria incorreta (altura/inclinação).
- Execução deficiente de aterros (geometria, compactação e fundação).
- Lançamento de lixo nas encostas/taludes.

A partir de informações geradas em mapeamentos geológico-geotécnicos, no Rio de Janeiro, Amaral et al (1997) apontam alguns itens que devem ser considerados nos estudos de instabilidade e deflagração de acidentes:

1. Distribuição e espessura dos solos e dos materiais antrópicos (lixo, por ex.).
2. Compartimentação e grau de fraturamento dos maciços rochosos.
3. Hidrologia das encostas.
4. Características texturais, granulométricas, mineralógicas e estruturais dos perfis de alteração das rochas e depósitos de vertente.

## Critérios para descrição dos movimentos de massa

Variam de acordo com a natureza do movimento. Uma relação dos elementos considerados significativos para a descrição de um movimento de massa hipotético, já ocorrido ou em vias de ocorrer deve ser procurada e servir como base numa sistemática de caracterização.

### Elementos significativos

Guidicini e Niebli (1984) com base na sistemática de Penta (1963) apresentam uma série de características de interesse na descrição de um movimento de massa. São as seguintes:

Características geométricas e morfológicas - Extensão do movimento, dimensões de escorregamento, inclinação da superfície externa, profundidade atingida pelo fenômeno, direção da movimentação, volume, forma, aspecto exterior, forma de manifestação (abatimento, deformação plástica, colapso, assentamento, abaixamento, despreendimento).

**Tabela 3.5 - Elementos significativos na descrição de um movimento de massa**

Descrição das partes típicas	Raiz ou região de destaque, extensão de movimentação, base ou zona de deposição.
Natureza e estado do material envolvido	Material rochoso (maciço, estratificado, xistoso, gnaissificado, compacto, fraturado, desagregado), material incoerente (areias, siltes, lama, detritos, materiais aluviais em geral), material coerente (argilas não-saturadas, argilas endurecidas, argilas tixotrópicas, turfa), estado do material da massa movimentada (sólido, líquido, plástico, fragmentário).
Características estruturais	Homogeneidade ou heterogeneidade estrutural, presença de atitude de falhas, intercalações de baixa resistência mecânica, sistema de compartimentação (direção, mergulho, frequência, espaçamento, abertura e preenchimento de descontinuidades, rugosidade, encurvamento e ondulações).
Características mecânicas	Propriedades da rocha intacta entre descontinuidades, previsão de comportamento diferenciado diante das solicitações.
Mecanismo de movimentação	Início, desenvolvimento, evolução, duração, velocidade, discriminação de causa e agente, forma de atuação.
Superfície de movimentação	Presença ou ausência, natureza, continuidade, superfícies múltiplas, descontinuidades, vazios, inclinação, irregularidades, abaulamentos.
Comportamento no tempo	Periodicidade, frequência no mesmo local, sucessivos estágios de desenvolvimento.
Relação com outros movimentos	Coexistência, contemporaneidade, sucessão, distribuição, termos de passagem, densidade regional.
Consequências na área	Influência na morfologia local, ou regional, implicações econômicas, mudanças no regime de escoamento superficial ou subterrâneo.

De acordo com o WLI (1993) devem ser distinguidas:

### 1. Estilo do escorregamento

**Tabela 3.6 - Estilo do escorregamento**

Tipo	Descrição
Complexo	Exibe pelo menos dois tipos de movimentos (queda, escorregamento fluxo) em sequência.
Composto	Exibe pelo menos dois tipos de movimentos simultâneos em diferentes partes da massa deslocada.
Sucessivo	É do mesmo tipo de um escorregamento anterior vizinho, mas não compartilha o material deslocado ou superfície de ruptura com ele.
Simple	É um simples movimento de material deslocado.
Múltiplo	Apresenta repetidos desenvolvimentos no mesmo tipo de movimento.

## 2. Velocidade dos Movimentos de Massas

Variam entre extremamente rápidos, com velocidades superiores a 3 m/s a extremamente lentos, com velocidades inferiores a 0,3 m/5 anos. Indica-se a seguir as classes de velocidade geralmente utilizadas:

**Tabela 3.7 - Classificação da velocidade de deslocamento**

Classificação	Velocidade
Muito lento	de 0,3 m/5 anos a 1,5 m/ano
Lento	de 1,5 m/ano a 1,5 m/mês
Moderado	de 1,5 m/mês a 1,5 m/dia
Rápido	de 1,5 m/dia a 0,3 m/min
Muito rápido	de 0,3 m/min a 3 m/s

Normalmente a velocidade dos escorregamentos varia de moderada a rápida.

## 3. Estado de atividade do escorregamento

**Tabela 3.8 - Estado de atividade do escorregamento**

Estado de atividade	Descrição
Ativo	Está atualmente em movimento.
Paralisado	Moveu-se nos últimos 12 meses, mas não está ativo no presente.
Reativado	É um ativo que estava inativo.
Inativo	Não se moveu nos últimos 12 meses.
Adormecido	Inativo que pode ser reativado por suas causas originais, ou por outras causas.
Abandonado	Inativo que não está mais afetado pelas causas originais.
Estabilizado	Inativo que está protegido de suas causas originais por medidas corretivas artificiais.
Reliquiar	Um escorregamento inativo, que se desenvolveu sob condições climáticas e geomorfológicas consideravelmente diferentes que as do presente. São também denominados movimentos de massas fósseis.

## Métodos de Investigação utilizados no Estudo dos Movimentos de Massa

### Conhecimento Geológico

É o requisito essencial para a formação de um conceito perspicaz sobre os processos que podem levar ao colapso da encosta.

### Caracterização Geológico-Geotécnica

É necessária para as medidas emergenciais e corretivas, tendo como objetivos a identificação dos agentes, causas e condicionantes atuantes no processo de instabilização existente ou potencial através da obtenção de dados de superfície e de subsuperfície. Por meio desta caracterização, são determinados parâmetros qualitativos e quantitativos das unidades geológicas presentes na área de estudo em diferentes níveis ou escala de abordagem como o preconizado por Augusto-Filho (1995).

#### Objetivos

- determinação das características do processo de instabilização de uma encosta ou talude, através da identificação dos seus agentes/causas; geometria; do mecanismo de movimentação; da natureza e estado do material mobilizado e seu comportamento no tempo, estabelecimento do modelo fenomenológico;
- identificação, caracterização e mapeamento espacial das unidades geológico-geotécnicas presentes na área de estudo;
- correlação entre as unidades mapeadas e o processo de instabilização;
- previsão do comportamento destas unidades ante as solicitações impostas por alguns tipos de obras de contenção.

#### Etapas para a caracterização geológico-geotécnica

1. Planejamento
2. Levantamento de dados de interesse já existente
3. Investigações de superfície, com vistoria na área de estudo, programação e realização de novos levantamentos que se fizerem necessários
4. Formulação de modelo fenomenológico do processo de investigação
5. Avaliação do modelo
6. Projeto de estabilização

Se insuficiente o modelo, deverão ser feitas programações de:

- ⇒ Investigações de subsuperfície
- ⇒ Instrumentação
- ⇒ Ensaio (in situ e de laboratório)
- ⇒ Obs.: Novas investigações de superfície podem ser requisitadas.

As investigações de superfície são realizadas através de:

- ⇒ Vistorias de campo, onde será emitido um laudo de vistoria com o preenchimento de uma ficha cadastral (Figura 12)

LAUDO DE VISTORIA Nº \_\_\_\_\_

- 1- LOCAL:
- 2- DATA DO PEDIDO:
- 4- ORIGEM/ MOTIVO DO PEDIDO:
- 5- SOLICITANTE
- 6- ASPECTOS REGIONAIS

- 6.1- Tipo de ocupação:
- Favela
  - Loteamento irregular
  - Área urbana estruturada
  - Trecho da encosta desocupada
- Outras: \_\_\_\_\_

- 6.2- Tipo de ocupação:
- Arbórea
  - Rasteira
  - Arbustiva
  - Nenhuma
- Outras: \_\_\_\_\_

- 6.3- Relevo:
- Escarpado
  - Montanhoso
  - Ondulado
  - Suave

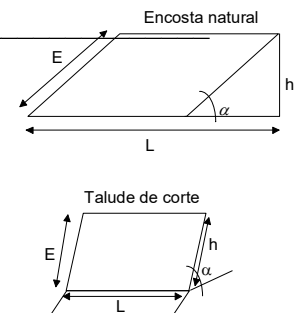
7 – CARACTERÍSTICAS LOCAIS

3- DATA DA VISTORIA:

- 7.2 – Espessura média aproximada do perfil de solo (m) \_\_\_\_\_
- 7.3 – Drenagem:  Natural Satisfatória

- Com surgência
- Umidade

7.5 – Geometria do Talude



- 7.6 – Risco
- 7.6.1 – Tipo  Potencial<sup>1</sup>
  - 7.6.2 Grau  Alto
  - Instalado<sup>2</sup>
  - Médio

8 – CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA

- 8.1 – Situação
- Com possibilidade de ocorrência
  - Ocorrido

8.2 – Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Hora aproximada: \_\_\_:\_\_\_

8.3 – Volume estimado do material mobilizado: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

8.4 – Tipo(s) de Movimento(s)

- 8.4.1 – Superfície de deslizamento  Sobre rocha
- 8.4.2 – Classificação  Escorregamento em solo  Escorregamento de lixo/ entulho

Figura 3.12 - Modelo de ficha para laudo de vistoria

7.1- Tipo do talude: Natureza do material

<input type="checkbox"/> Encosta natural	<input type="checkbox"/> Solo	
<input type="checkbox"/> Talude de corte	<input type="checkbox"/> Rocha	
<input type="checkbox"/> Talude de aterro	<input type="checkbox"/> Solo e rocha	h – altura (m)
<input type="checkbox"/> Com obra de contenção	<input type="checkbox"/> Lixo/ entulho	_____
Tipo(s) de obra(s): _____	<input type="checkbox"/> Matacões “in situ”	E – extensão (m)
_____	<input type="checkbox"/> Tálus	_____
_____	<input type="checkbox"/> Lascas	

9 – PROVIDÊNCIAS

10 – OBSERVAÇÕES GERAIS:

11 – RESPONSÁVEL PELA VISTORIA

12- ANEXOS:  Fotos  Mapas  Outros

Rio de Janeiro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_



- ⇒ Levantamento Geológico/Geotécnico
- ⇒ . Levantamento topográfico
- ⇒ . Levantamento fotogramétrico

As investigações de subsuperfície são realizadas através de:

- a) Métodos Diretos
  - ⇒ . Poços, trincheiras, cachimbos
  - ⇒ . Sondagem a trado
  - ⇒ . Sondagem a percursão
  - ⇒ . Sondagem rotativa
- b) Métodos Indiretos
  - ⇒ . Por geofísica - sísmicos, geolétricos e Radar de Penetração no Solo (GPR)
  - ⇒ . Por Sensoriamento Remoto

Exemplo de técnica de monitoramento de escorregamento

Um exemplo de execução de estudos geológicos e geotécnicos e de aplicação de instrumentação geotécnica em área povoada com reativação do processo de instabilização, é aquela realizada nas encostas do Itanhangá (RJ) e descrita por Ortigao et al (1997).

### **Mapas de Susceptibilidade e Cartas de Risco a Escorregamentos**

A aplicação de instrumentos cartográficos aos acidentes associados aos escorregamentos, enquadra-se na concepção de Cerri et al. (1993), a filosofia de detalhamento progressivo.

No Rio de Janeiro, tem-se empregado a Cartografia Geotécnica, representada pela elaboração de Cartas de Susceptibilidade, de Cartas Geológico/Geotécnicas ou Geotécnicas propriamente ditas e as Cartas de Risco, como instrumentos eficazes e de baixo custo para orientar as medidas preventivas e corretivas concernentes aos escorregamentos e administrar a ocupação e uso do solo em áreas de risco potencial.

Com base em Cerri et al. (1993) e segundo o roteiro apresentado por Amaral et al. (1997), parte-se da visualização global dos problemas numa escala de 1:25.000, onde as unidades do terreno são hierarquizadas de acordo com sua susceptibilidade a sofrerem escorregamentos, amplia-se o nível de trabalho com a preparação de um mapa na escala 1:10.000, onde são incorporadas as propriedades de solos e rochas, as características dos escorregamentos e as zonas de comportamento homogêneo, perante o potencial de ocorrência de escorregamentos. Seguem-se a cartografia na escala 1:2.000 retratando o potencial de ocorrência de escorregamentos e os elementos urbanos passíveis de serem afetados.

Com os dados oferecidos pelos distintos mapeamentos técnico-científicos, chega-se o Projeto de Intervenção, com indicação de soluções para setores específicos de cada encosta, passível de gerar risco.

**Critérios para Confecção de Mapas de Susceptibilidade e Cartas de Risco a Escorregamentos**

Mapas de Susceptibilidade a Deslizamentos



Para Fernandes e Amaral (1996), constituem-se em instrumentos técnico-científicos indispensáveis no sentido de reduzir as consequências desses acidentes, e têm como um dos objetivos a previsão da ocorrência de escorregamentos. Através dele, se determina um zoneamento de susceptibilidade a deslizamentos, subdividindo a área de estudo em zonas de igual susceptibilidade, com informações sobre probabilidade espacial, probabilidade temporal, tipos, magnitudes e velocidades de avanço dos deslizamentos numa determinada área geográfica.

O modelo mais simples de zoneamento de susceptibilidade é um mapa de inventário de deslizamentos, indicando os já ocorridos e os ainda ativos. A maior parte dos métodos de zoneamento propostos na literatura envolve a combinação e a integração de uma série de mapas temáticos daqueles fatores deflagradores dos deslizamentos.

No Rio de Janeiro, o Mapa de Susceptibilidade a deslizamentos foi preparado na escala 1:25.000 envolvendo a definição dos principais fatores que influenciam a distribuição dos escorregamentos nas encostas cariocas: Uso do solo, Geologia, Distribuição dos Depósitos Superficiais e Declividade. O mapa final apresenta à cores, a distribuição areal das 4 classes de susceptibilidade a deslizamentos que compreendem Áreas de Muito Baixa, de Baixa, de Moderada e de Alta Susceptibilidade (cor vermelha) que corresponde às áreas críticas conhecidas, seja pela frequência de acidentes, seja pelo elevado número de obras de contenção executadas nas encostas e em geral, envolvem áreas com favelas, caracterizadas por depósitos de tálus, blocos rochosos e lascas instáveis.

Segue-se, nas áreas de maior susceptibilidade à deslizamentos, a elaboração das Cartas de Risco de Acidentes Associados a Deslizamentos.

#### **Cartas de Risco - Metodologia de Preparação e Atualização**

São mapas geológico-geotécnicos específicos, analíticos e detalhados, produzidos na escala de detalhe, 1:2.000, no Rio de Janeiro.

Segundo roteiro apresentado por Fernandes e Amaral (1996), sua preparação deve seguir as seguintes exigências:

- Fornecer informações sobre trechos da encosta afetados por escorregamentos no passado, e dentre estes, quais os que já foram estabilizados, por obras de contenção. Para atingir tal objetivo, é preciso consultar o Inventário Local de Escorregamentos e o Banco de Dados de Obras de Contenção na Diretoria de Geotécnica.
- As cartas devem indicar áreas sujeitas a novos escorregamentos, discriminando o tipo de processo que pode ocorrer e o potencial de destruição imposto por ele. Para atingir tal objetivo, é preciso reunir todas as informações disponíveis sobre a geologia, pedologia e hidrologia das encostas, além de efetuar um mapeamento geológico-geotécnico preliminar baseado em perfis (rápidos) de grande resolução. As Cartas de Risco devem indicar todos os taludes potencialmente instáveis. O Cadastro de Risco Individual é anexado ao Texto Explicativo, incluindo a descrição da geometria do talude, o perfil solo/rocha e suas descontinuidades e o número de casas ameaçadas. Todos os pontos de risco imediato devem ser fotografados e contemplados com perfis transversais, nos quais se indica o tipo de obra de contenção capaz de eliminar o risco de acidentes.
- As cartas devem ser acompanhadas de mapas complementares, onde estão indicadas as sondagens diretas do subsolo e pontos de ensaios amostrados.

- As Cartas de Risco, devem, em função do tipo de escorregamento predominante e da concentração de pontos críticos (imediatos ou futuros), estar zoneadas em alto, médio e baixo risco, coloridas e numeradas, de modo a facilitar a sua utilização por administradores e equipes da Defesa Civil Municipal.
- As Cartas de Risco devem ser acompanhadas por fotografias aéreas, onde estão indicados todos os taludes instáveis que trazem risco imediato de acidentes e que necessitam ou de obras de contenção ou de relocação das moradias.
- Nestas cartas o risco de acidentes é zoneado em Alto Risco (Risco III - em vermelho), Médio e Baixo, indicando-se o tipo de escorregamento que pode ocorrer em cada trecho da encosta. Ela deve estar acompanhada de fotografias aéreas, onde estão indicados os taludes potencialmente instáveis e no texto explicativo discute-se as condicionantes geoambientais que levam ao risco.

Para a identificação das situações de risco, são realizadas atividades de campo na qual alguns aspectos devem ser observados:

- Tipo de material: in situ, transportado ou resultante da ação humana (rocha, solo residual, colúvio, tálus, aterro, lixo, etc.).
- Características geológico-geotécnicas do material.
- Rocha - litotipo, fraturamento, foliação, presença de blocos, matacões e paredes rochosos, grau de alteração.
- Solo - textura, coesão, estruturas remanescentes, erodibilidade, drenabilidade e espessura.
- Morfologia: inclinação e forma da encosta
- Ocupação do solo: cortes, aterros, densidade de ocupação, desmatamento, alterações na drenagem, etc.
- Histórico de ocorrências: laudo de vistoria, trabalhos anteriores, indícios de acidentes pretéritos e depoimento de moradores.

Processos:

- Rocha - rolamento de blocos, deslocamento de lascas, erosão diferencial
- Solo - deslizamento superficial ou profundo, rastejos, surgência de água, erosão, ravinamento.
- Hierarquização do risco: alto, médio ou baixo.

Definição de conceitos adotados:

Risco - é a probabilidade de ocorrência do deslizamento e as consequências sociais e/ou econômicas potenciais.

É expressado segundo a equação:

$$R = P \times C$$

sendo:

*R* o risco de deslizamento,

*P* a possibilidade de ocorrência do fenômeno,

*C* as consequências do acidente.

Esta equação é a base da hierarquização do risco.

Pontos de alto risco - são aqueles em que o risco é evidente e eminente, abrangendo um grande número de casas, e/ou área fonte de risco, mas que, em geral, pode ser eliminado na maior parte dos casos com obras de contenção.

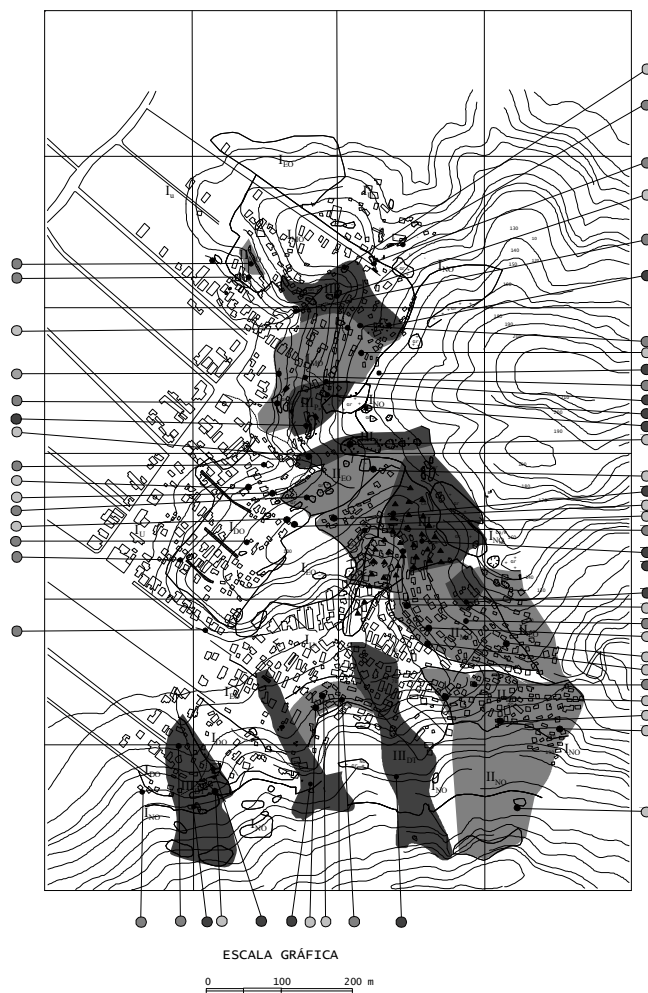
Pontos de baixo risco - o risco é reduzido ou inexistente. Nestes locais, em geral, a ocupação é razoavelmente ordenada e/ou as características geológico-geotécnicas favoráveis ou já realizada obra de contenção que resolveu a situação de risco anterior existentes.

Deve-se diferenciar o significado de pontos de risco e de áreas de risco como o proposto por Amaral e D'Orsi (1992), bem como entre cadastramento e zoneamento de risco, proposto por Cerri et al (1992).

Pontos de risco - são situações pontuais, nas quais devem ser empregadas soluções específicas e localizadas, representando um nível de detalhe maior, indicando as situações de risco, moradia por moradia (cadastro de risco). Esses pontos são discriminados no mapa de pontos.

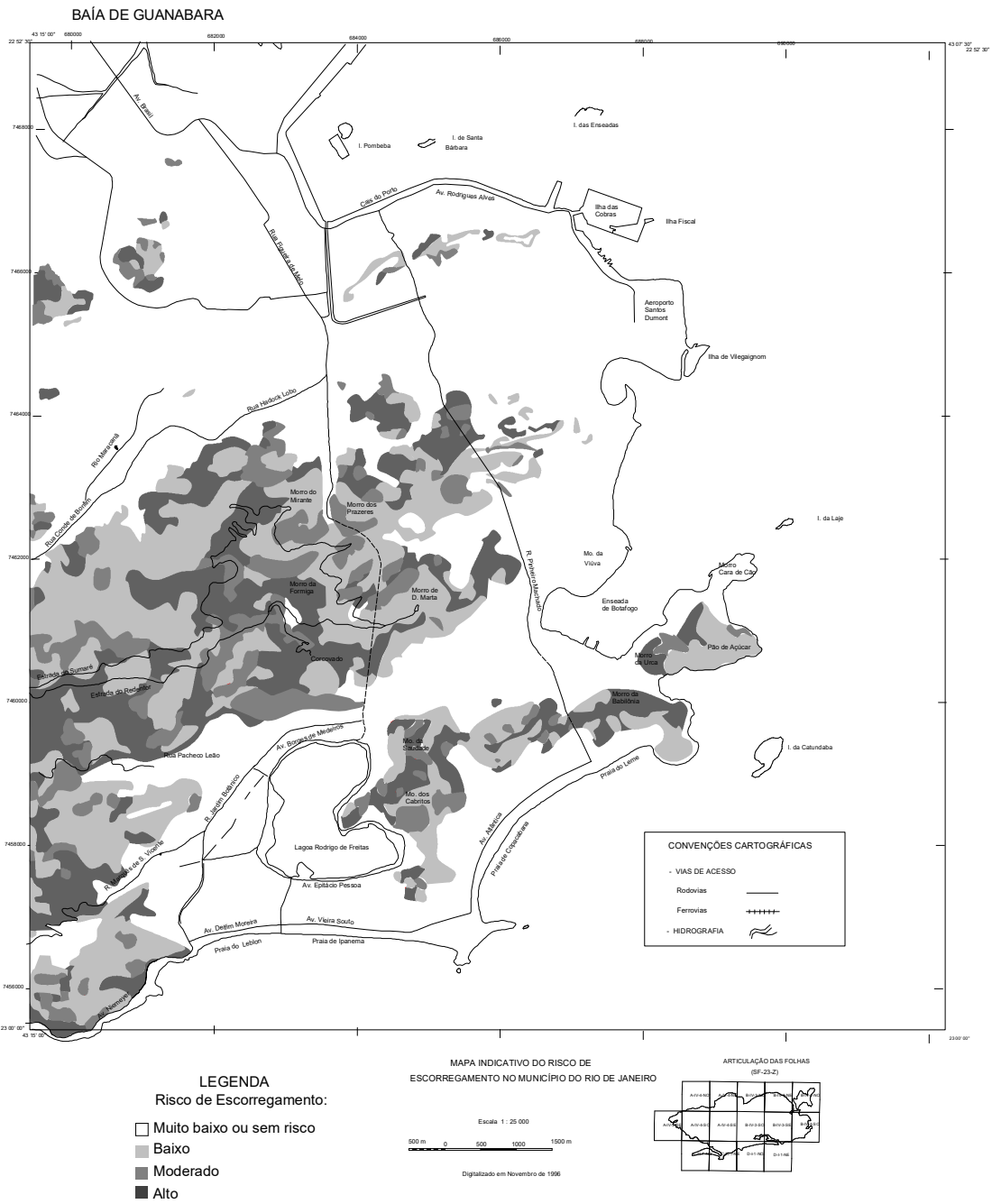
Áreas de risco - englobam porções da encosta, com formas e tamanhos irregulares, com características geológico-geotécnicas ocupacionais próprias, com maior ou menor risco de escorregamentos, aqui envolvidas as áreas planas que podem ser atingidas pelo material movimentado. As áreas delimitadas através do zoneamento de risco, envolvem várias moradias e podem ou não conter pontos de risco de graus diferentes.

Exemplos de cartas de risco elaboradas pela Geo Rio no Município do Rio de Janeiro: (Figuras 13 e 14).



Risco geotécnico	Simbologia	Predominantes
BAIXO	I	Áreas ocupadas com infra-estrutura urbana e baixo potencial de acidentes
	I <sub>NO</sub>	Áreas não ocupadas, com declividade elevada e características desfavoráveis a ocupação
	I <sub>EO</sub>	Áreas esparsamente ocupadas com boas características gerais a ocupação
	I <sub>MO</sub>	Áreas medianamente ocupadas com boas características geotécnicas e pequeno e localizado potencial de acidentes, em geral associados a pequenos cortes e depósitos de lixo/entulho
MEDIO	I <sub>U</sub>	Áreas densamente ocupadas com pequeno e localizado potencial de deslizamentos de solo, em geral, associados a pequenos cortes/aterros e depósito de lixo/entulho. A infraestrutura urbana é precária
	II <sub>DO</sub>	Área não ocupada com declividade elevada, constituindo área-fonte de blocos sujeitos a movimentação
	II <sub>EO</sub>	Áreas esparsamente ocupadas com características (declividade e hidrologia) desfavoráveis a ocupação
	II <sub>MO</sub>	Áreas medianamente ocupadas onde há tendência de adensamento da ocupação, com aumento do grau de risco, ligado a deslizamentos de solo associados a pequenos cortes/aterros e depósitos de lixo/entulho
ALTO	II <sub>DO</sub>	Áreas ocupadas, constituídas por taludes naturais com declividade moderada e características geotécnicas desfavoráveis e/ou pequeno número de cortes/aterros. Estão sujeitas a serem atingidas por rolamento de blocos a partir de afloramento a montante.
	III <sub>DT/CB</sub>	Talwegues naturais preenchidos por depósito de tálus/colúvio (DT), com grande potencial de acidentes (movimentação de blocos de rocha e/ou solo); ou por campo de blocos (CB) sujeitos a movimentação
	III <sub>P</sub>	Taludes rochosos naturais ou pedreiras e suas áreas de influência, com grande potencial de acidentes (queda de lascas e/ou blocos)

Figura 3.13 - - Exemplo de carta de setorização de risco



**Figura 3.14 - Detalhe de parte do mapa indicativo de risco de escorregamento**

## 4. Investigações geotécnicas

---

A Ortigão & H Brito

### Introdução

Este capítulo trata sucintamente das investigações geotécnicas necessárias a uma obra de estabilização de taludes na cidade do Rio de Janeiro. Devido à grande experiência com obras de estabilização no Rio de Janeiro, as fases de investigação se resumem, na maioria dos casos, à inspeção por geólogo e engenheiro experientes e às sondagens a percussão e rotativas. Nos casos correntes não são realizadas investigações geofísicas, nem ensaios de laboratório.

Em casos mais complexos, as investigações são abrangentes, envolvendo geofísica, sondagens, retirada de amostras, ensaios in situ e laboratoriais.

Não é intenção deste manual tratar detalhadamente das investigações, o que pode ser visto nas seguintes principais referências: ABGE (1998), GEO (1993), Lima (1976), Weltman e Head (1983) e Clayton (1982).

### Investigações expeditas

#### Inspeção por geólogos e engenheiros

Consta de uma vistoria de campo com objetivo de levantar:

- Formações geológicas presentes na área de interesse.
- Características do material de cobertura e do perfil de alteração.
- Estruturas geológicas identificáveis ao nível de afloramento (foliação, fraturas, contatos litológicos, variação textural, etc.).
- Hidrologia do talude: surgências d'água e zonas de saturação.
- Instabilizações existentes (tipo, características, área de influência).
- Feições de movimentação (trincas, degraus, “embarrigamentos”, abatimentos, etc.).
- Geometria da encosta e processo de instabilização.
- Cobertura vegetal (tipo, indicação de movimento pela inclinação das árvores)

- Interferências antrópicas (cortes, aterros, desorganização da drenagem, lançamento de águas servidas, acumulação de lixo, desmatamento, etc.).

#### **Cadastramento da ocorrência:**

Deve constar dos seguintes itens:

- Fotos aéreas e obtidas no local.
- Descrição das principais características da encosta e da ocorrência.
- Dados pluviométricos;
- Classificação dos movimentos observados e potenciais.
- Avaliação da susceptibilidade dos processos de instabilização.
- Sugestões para a qualificação e quantificação dos danos decorrentes dos processos de instabilização e avaliação da gravidade do risco.
- Avaliação da gravidade do risco
- Soluções preliminares.

#### **Levantamentos topográficos preliminares**

Nas fases iniciais dos estudos, poderão ser feitos levantamentos topográficos expeditos, utilizando trena, clinômetro e bússola.

Devem elaboradas seções transversais com auxílio da trena e do nível de mangueira, frequentemente em escala igual ou superior a 1:500.

#### **Normas de sondagens e amostragem**

As principais normas ABNT aplicáveis constam da Tabela 4.1. As recomendações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), constam da

**Tabela 4.1 - Normas ABNT de sondagem e amostragem**

<b>Norma ABNT</b>	<b>Título</b>
ABNT NBR 9604	Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas
ABNT NBR 6457	Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
ABNT NBR 9820	Coleta de amostras indeformadas em solo em furos de sondagem
ABNT TB-38	Equipamento a diamante para sondagem
ABNT NBR 6484	Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos
ABNT NBR 7250	Identificação e descrição de amostras de solos obtidos em sondagens de simples reconhecimento dos solos
ABNT NBR 8036	Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios
ABNT NBR 6490	Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrência de rochas
ABNT NBR 6491	Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia
ABNT NBR 9603	Sondagem a trado

**Tabela 4.2 - Recomendações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE**

Referência	Título
ABGE (1975)	Ensaio de perda d'água sob pressão, Diretrizes Boletim no. 2
ABGE (1990a)	Diretrizes para a execução de sondagens, Boletim Especial
ABGE (1996)	Ensaio de permeabilidade em solos, Boletim 4

### **Sondagens a trado**

É uma perfuração manual de pequeno diâmetro, de acordo com a norma ABNT NBR 9603. É feita com um trado, tipo cunha ou tipo espiral, para investigação de solo de baixa a média resistência ao nível de reconhecimento. Tais furos permitem uma rápida perfilagem do material atravessado, retirada de amostras deformadas e melhor conhecimento da estratigrafia do terreno. O diâmetro usual do trado é 75 mm e a coleta de amostras é feita a cada metro de avanço ou então quando ocorre mudança do tipo de material. Estes furos geralmente penetram no máximo 5 m de profundidade, apenas em solo acima do nível de água.

### **Poços de inspeção**

São escavações verticais com 0,8 a 3 m de diâmetro, que permitem o acesso para exame in situ do material investigado. São realizadas observações detalhadas e a retirada de amostras indeformadas de blocos. Na descrição do poço podem ser feitas avaliações pormenorizadas da macroestrutura dos horizontes atravessados, além de indicações sobre a permeabilidade e da resistência do solo.

## **Investigações detalhadas**

### **Topografia**

São levantamentos planialtimétricos cobrindo a região considerada crítica e suas circunvizinhanças em escalas apropriadas (1:500 a 1:200). Os levantamentos topográficos são orientados para o cadastro dos aspectos de interesse, levantados nas vistorias de campo e nas investigações expeditas, tais como afloramentos rochosos, feições de instabilidade, surgência d'água e interferências antrópicas. Os levantamentos são realizados a partir de seções, preferencialmente demarcadas no campo, com piquetes, para facilitar detalhamentos.

### **Métodos indiretos**

Os métodos indiretos abrangem principalmente os métodos geofísicos. Permitem determinar a distribuição de parâmetros dos maciços, tais como contrastes litológicos, descontinuidades, grau de alteração e profundidade do topo rochoso.

Os principais métodos geofísicos utilizados são: sísmicos e geolétricos.

### **Métodos Sísmicos**

A sísmica de refração é uma investigação de subsuperfície empregada para determinação da profundidade do topo do embasamento rochoso, espessura das camadas, localização de zonas de falhas, contatos geológicos e diques.

O método se baseia no fato de que as ondas sísmicas geradas na superfície sofrem refração ao atingir a interface entre dois meios. Sensores denominados registradores de tempo de



propagação das ondas refletidas que retornam à superfície. Um equipamento de registro, o sismógrafo, grava os sinais recebido em forma digital. Os resultados impressos desta investigação são denominados sismogramas.

O método sísmico de refração utiliza fontes de energia de natureza impulsiva que produzem deformações elásticas no meio, gerando ondas sísmicas que se propagam através das diferentes interfaces geológicas. Como fonte, normalmente se utilizam explosivos, mas em áreas povoadas ou urbanas, são usadas fontes alternativas como o rifle sísmico, o martelo ou a simples queda de pesos.

É desejável a utilização de outros métodos geofísicos acompanhando o método sísmico, e nos estudos de interesse geotécnico normalmente se associam métodos geoeletricos, sobretudo a sondagem elétrica vertical. Entretanto a interpretação dos dados de refração é complexa quando a declividade da área estudada é superior a 25°. Os dados obtidos devem ser confrontados com dados geológicos de superfície e subsuperfície (derivados de sondagens) e analisados conjuntamente com outros métodos de investigação.

A sísmica de reflexão vem recentemente sendo adotada também em investigação rasa (profundidades inferiores a 30 m), fornecendo subsídios fundamentais à investigação geológico-geotécnica. A aquisição dos dados é análoga à da sísmica de refração, e o sucesso de sua aplicação depende dos equipamentos geofísicos empregados e das características geológicas do terreno.

A aplicação do método está diretamente vinculada à existência de contrastes de impedância acústica em subsuperfície, o que geralmente ocorre no contato entre camadas geológicas, e é capaz de observar detalhes da subsuperfície não captadas pela refração.

A existência de matacões causa reflexão e dificulta a interpretação, podendo tornar impraticável a aplicação de geofísica a certos terrenos.

### ***Métodos geoeletricos***

Constam principalmente de ensaios de eletrorresistividade, pela polarização induzida e pela condutividade. Os métodos de medição de eletrorresistividade são a sondagem elétrica vertical e o caminhamento elétrico.

As sondagens elétricas são empregadas para determinar o recobrimento do substrato, porém só são úteis se os materiais forem eletricamente distintos. Servem para determinar o topo rochoso e a profundidade do nível d'água. Os caminhamentos servem para detectar falhas ou variações laterais com contraste elétrico.

Para definição do aquífero e comportamento do fluxo de água subterrânea, utiliza-se o método geofísico do potencial natural (SP) ou espontâneo. Mapas de isovalores dos potenciais naturais em subsolo homogêneo fornecem informações sobre a configuração, direção e sentido do fluxo subterrâneos, tanto em planos horizontais quanto verticais.

### **Métodos diretos**

#### ***Sondagens***

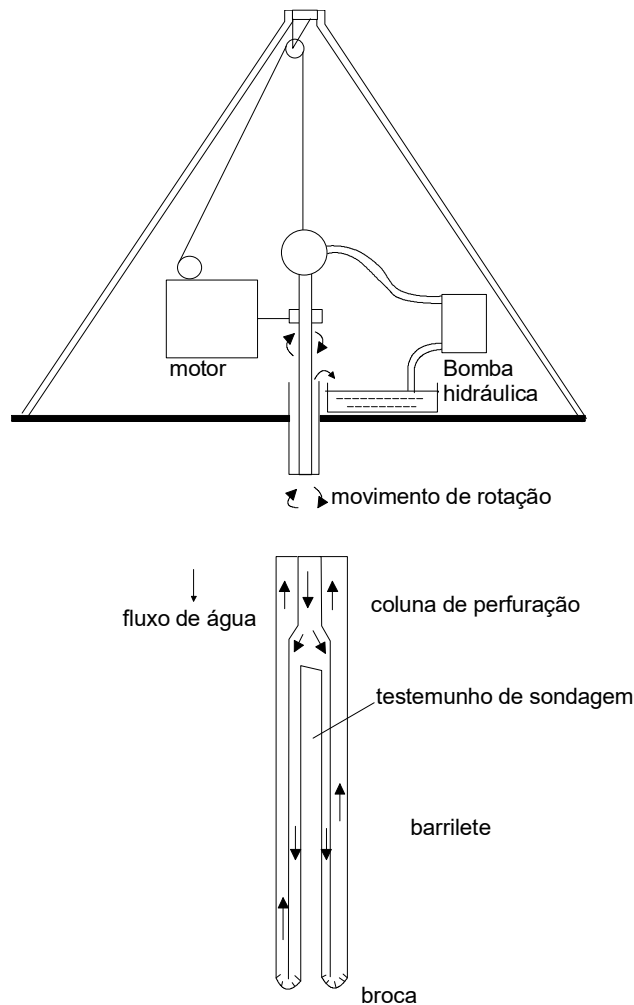
É a mais comum das investigações detalhadas, realizada a partir de uma perfuração no terreno. São coletadas amostras e se realizam alguns tipos de ensaios descritos mais adiante. Os procedimentos de investigação são bem definidos nas normas ABNT e ABGE. O projetista deverá definir um programa de investigações em que conste o número e tipo de sondagens e amostragem.

### **Sondagem a percussão**

É o método mais comum de investigação para a definição do perfil geotécnico em solos. Obtém-se amostras a cada metro, a posição do nível d'água e o índice de resistência à penetração ( $N$ ) através de ensaios SPT. A penetração é impedida em materiais resistentes, como os matacões, quando outro tipo de sondagem deve ser adotado.

### **Sondagem Rotativa**

É o melhor recurso para caracterização de terrenos, principalmente quando há necessidade de reconhecer o material em profundidade e em materiais resistentes. Obtém-se amostras ou testemunhos com diâmetro entre 20 e 100 mm. Permite alcançar as posições do lençol freático em grande profundidade e também a superfície de movimentação, em casos onde o acesso direto por meio de poços e trincheiras não seja viável.



**Figura 4.1 - Sonda rotativa**

O equipamento (Figura 4.1) consta de uma sonda motorizada, bomba de água, hastes, barriletes e coroas. A operação da sondagem rotativa se faz por ciclos sucessivos de corte e retirada dos testemunhos do interior do barrilete, procedimento este denominado manobra. O avanço de cada manobra depende da qualidade do material que está sendo perfurado. Se de boa qualidade, o comprimento de testemunho obtido em cada manobra pode ser quase igual ao tamanho do barrilete da ordem de 3 m.

### ***Sondagem Mista***

Utilizada quando maciço rochoso a ser estudado está coberto por material terroso. A sondagem rotativa só é iniciada quando se atinge o impenetrável na sondagem a percussão, ou  $N$  maior que 50.

### ***Perfis de Sondagens***

Os perfis individuais ou boletins de sondagens devem conter informações técnicas, desde a perfuração até dados interpretativos. Os boletins de sondagem devem conter:

1. Diâmetro do furo
2. Tipo de ferramenta utilizada na perfuração.
3. Posição do revestimento.
4. Profundidades atingidas e posição do NA (nível d'água).
5. Descrição dos materiais e definições das unidades geológicas
6. Nas sondagem a percussão: o gráfico de  $N$  em função da profundidade.
7. Nas sondagens rotativas: informações qualitativas do maciço, grau de alteração da rocha, grau de fraturamento, RQD, inclinação das estruturas geológicas, rugosidade, alteração e preenchimento de juntas, resistência da rocha, resultados de ensaios de permeabilidade, perda d'água durante a perfuração e características geotécnicas importantes observadas nos testemunhos.

### **Coleta de amostras em blocos**

O procedimento para a coleta de amostras indeformadas de solo em blocos para ensaios de laboratório é apresentado na Figura 4.2 (ABNT NBR 9604). Consiste em talhar no fundo ou parede da escavação um cubo de 30 cm de aresta e protegê-lo com camadas de parafina fundida e de talagarça, entremeadas. As amostras devem conter indicações sobre sua posição espacial. O transporte deverá ser em caixas de madeira contendo serragem úmida.

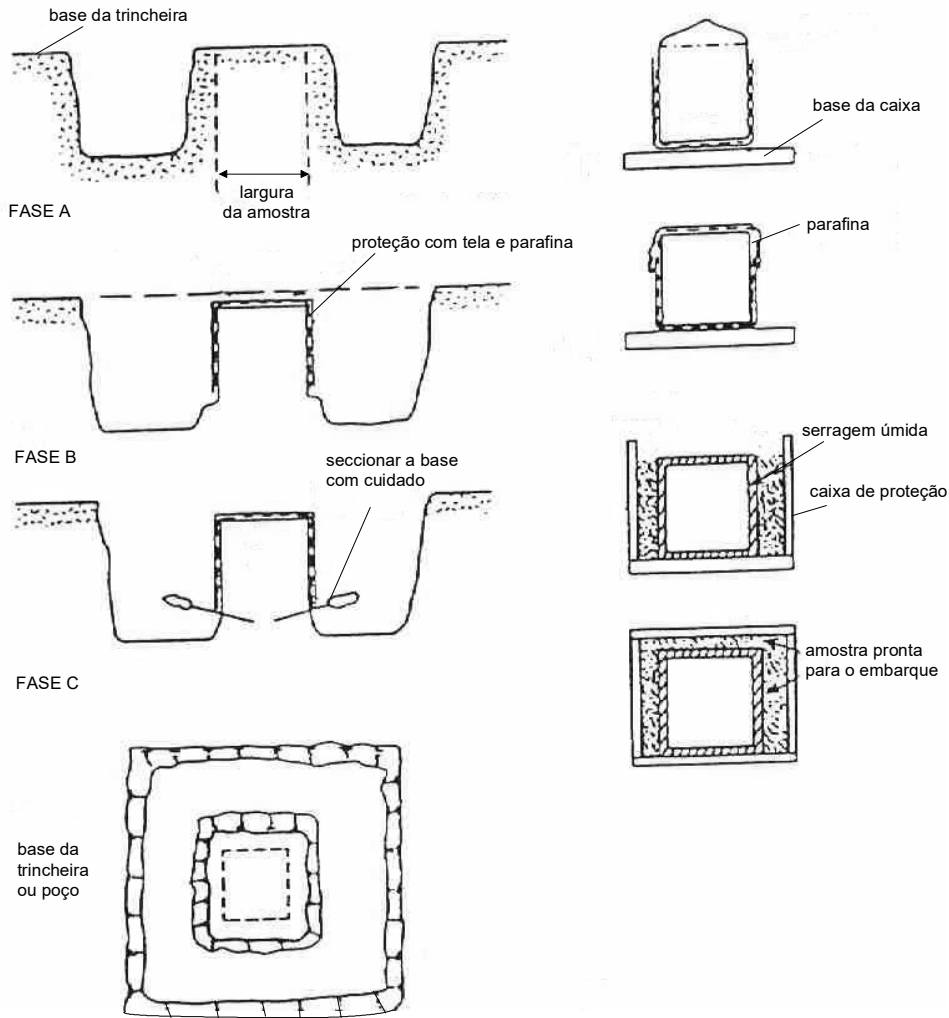


Figura 4.2 Amostragem em blocos

## Ensaio in situ

São pouco frequentes os ensaios in situ em solos residuais, exceto os ensaios de permeabilidade.

Os ensaios de permeabilidade in situ são realizados em furos de sondagem ou, mais raramente em cavas. Os procedimentos de ensaio estão detalhados no boletim ABGE (1996).

## Ensaio de laboratório

Os ensaios de laboratório comuns são os de caracterização e de determinação da resistência ao cisalhamento.

### Ensaio de caracterização

Os ensaios de caracterização consistem em ensaios correntes de laboratório de análise granulométrica, determinação de peso específico, teor de umidade e limites de Atterberg. As normas aplicáveis constam da

Tabela 4.3 - Ensaio de caracterização

Norma	Ensaio
ABNT NBR 7181	Solo – Análise granulométrica
ABNT NBR 6459	Solo – Determinação do Limite de Liquidez
ABNT NBR 7180	Solo – Determinação do Limite de Plasticidade

**Ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento**

Os ensaios de laboratório correntes para determinação da resistência ao cisalhamento estão detalhados em vários livros-texto de mecânica dos solos (e.g. Ortigão, 1995). Os mais comuns são os de cisalhamento direto e os triaxiais. Em encostas, a situação mais comum é representada por ensaios em que a drenagem é totalmente livre durante todas as fases de ensaio, sendo portanto, os ensaios classificados como *drenados*. Em particular, o ensaio de cisalhamento direto é mais simples e só deve ser realizado em condições de drenagem completa. Os ensaios drenados têm uma fase inicial de consolidação nas tensões principais de ensaio, seguida pela fase de cisalhamento drenado. Com isso, estes ensaios são classificados como CD (C = *consolidados*, D = *drenados*).

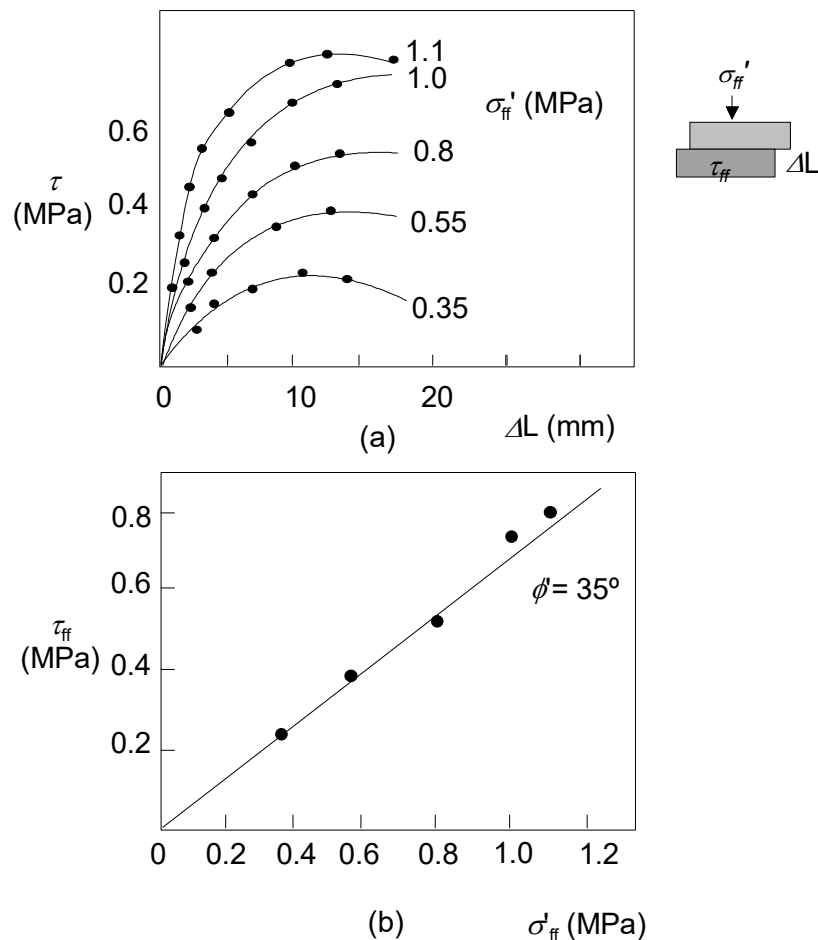


Figura 4.3 - Apresentação de resultados de ensaios de cisalhamento direto drenado

O ensaio de cisalhamento direto está esquematizado na Figura 4.3, que também indica a maneira usual de plotar os resultados: um gráfico tensão versus deslocamento e noutro, o diagrama de Mohr-Coulomb, onde se obtém parâmetros de resistência.

Resultados típicos de ensaios triaxiais CD em solo arenoso constam da Figura 4.4 e da Figura 4.5. A primeira apresenta curvas de tensão deformação, a segunda a envoltória de resistência.

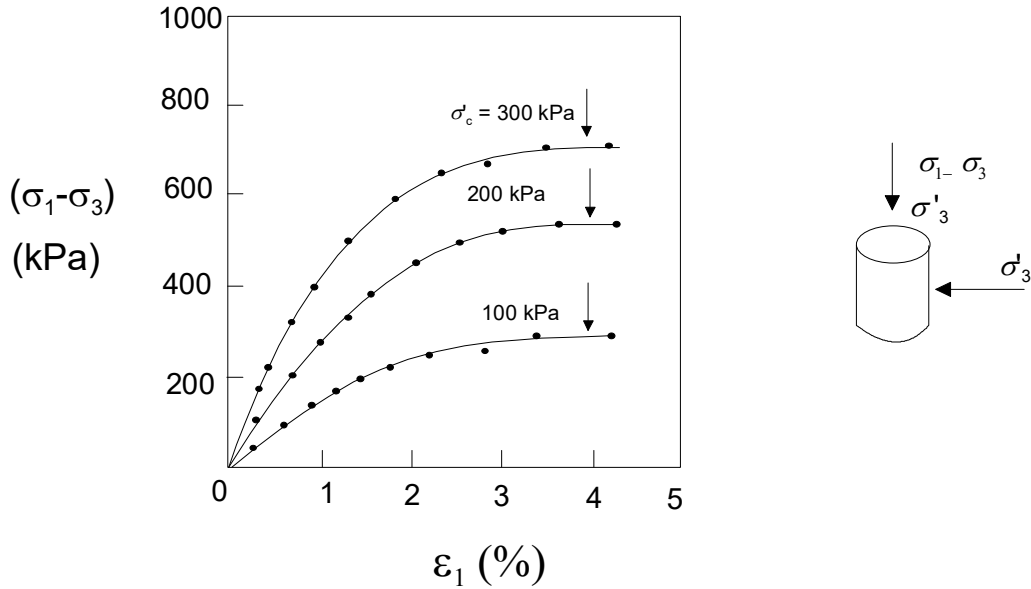


Figura 4.4 - Curvas tensão-deformação de ensaios triaxiais drenados em solos arenosos

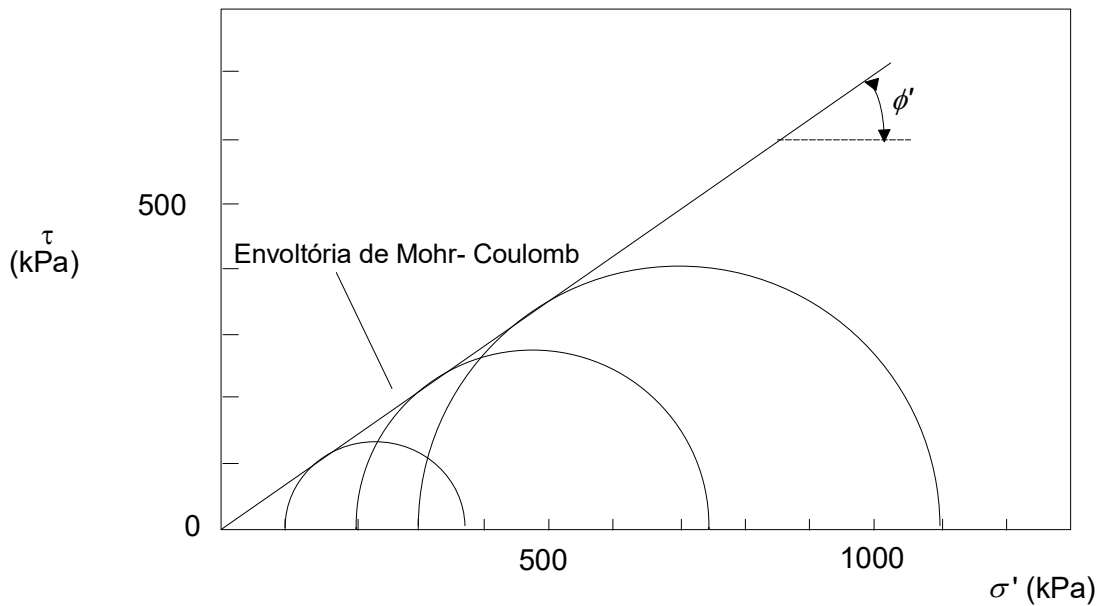


Figura 4.5 - Envoltória de Mohr-Coulomb em ensaios triaxiais

## Parâmetros típicos de resistência

A

Tabela 4.4 apresenta resultados típicos de parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos residuais de gnaiss encontrados no Rio de Janeiro.

Tabela 4.4 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos residuais de gnaiss

Local (referência)	Características do solo	Ensaio realizado		Coesão			tan $\phi$		
		Nº	Tipo	Valor médio (kPa)	COV (%)	n	Valor médio	COV (%)	n
Rod. RJ-18-Catingueiro (Campos, 1974)	Solo micácio não submerso, paralelo à xistosidade, cinza escuro	7	CD	35.7	24.7	19	0.36	8.8	5
	não submerso, paralelo à xistosidade, preto	5	CD	37.5	49.0	120	0.31	15.9	9
	não submerso, paralelo à xistosidade, cinza claro	4	CD	40.7	42.1	60	0.56	9.7	5
	não submerso, paralelo à xistosidade, branco	4	CD	39.0	28.0	24	0.35	9.9	5
	submerso, paralelo à xistosidade, cinza escuro	9	CD	29.4	20.7	14	0.39	4.8	3
	submerso, paralelo à xistosidade, preto	5	CD	25.9	20.4	14	0.35	4.5	3
	submerso, paralelo à xistosidade, cinza claro	4	CD	12.9	130.4	x	0.60	8.8	5
	submerso, paralelo à xistosidade, branco	4	CD	27.6	10.2	5	0.39	2.4	3
	não submerso, perpendicular à xistosidade, cinza escuro	4	CD	52.3	45.5	60	0.42	16.9	10
	submerso, perpendicular à xistosidade, cinza escuro	4	CD	49.2	44.5	60	0.40	17.2	10
Campo experimental 1 da PUC – Rio (Maccarini, 1980)	solo residual gneissico jovem não submerso	40	CD	55.2	13.4	7	0.64	3.5	3
	submerso	40	CD	38.1	15.2	9	0.62	2.8	3
	submerso	28	CID	50.2	18.4	12	0.62	3.7	3
Campo experimental 2 da PUC – Rio (Marinho, 1986)	colúvio	11	CID	70.0	30.1	27	0.35	18.5	12
	solo residual de gneiss (saprolito)	6	CID	47.2	40.2	60	0.31	17.4	11

COV = coeficiente de variação

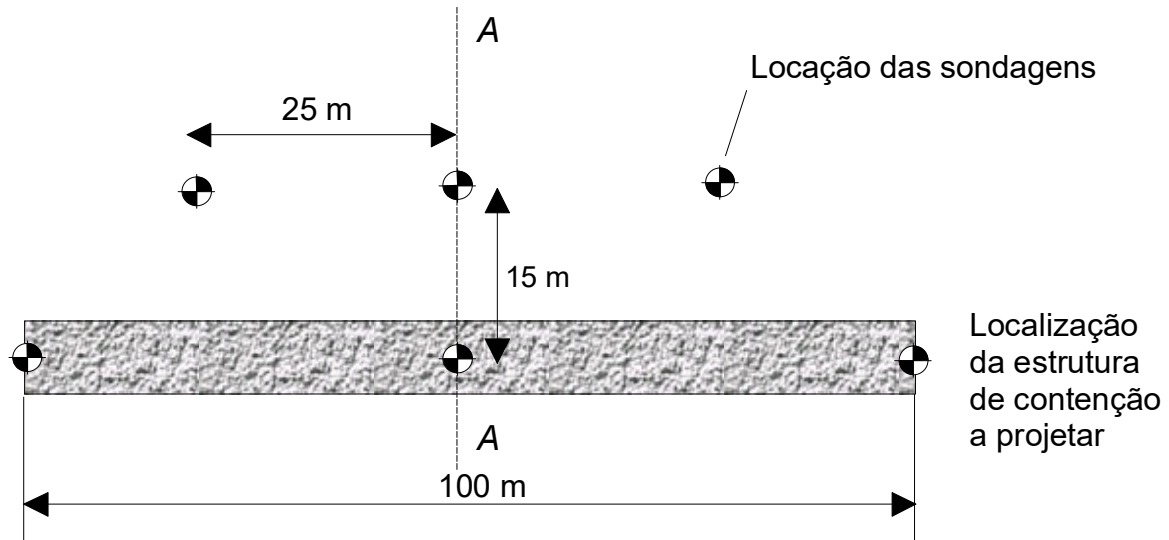
CD = cisalhamento direto drenado

CID = triaxial consolidado isotropicamente drenado

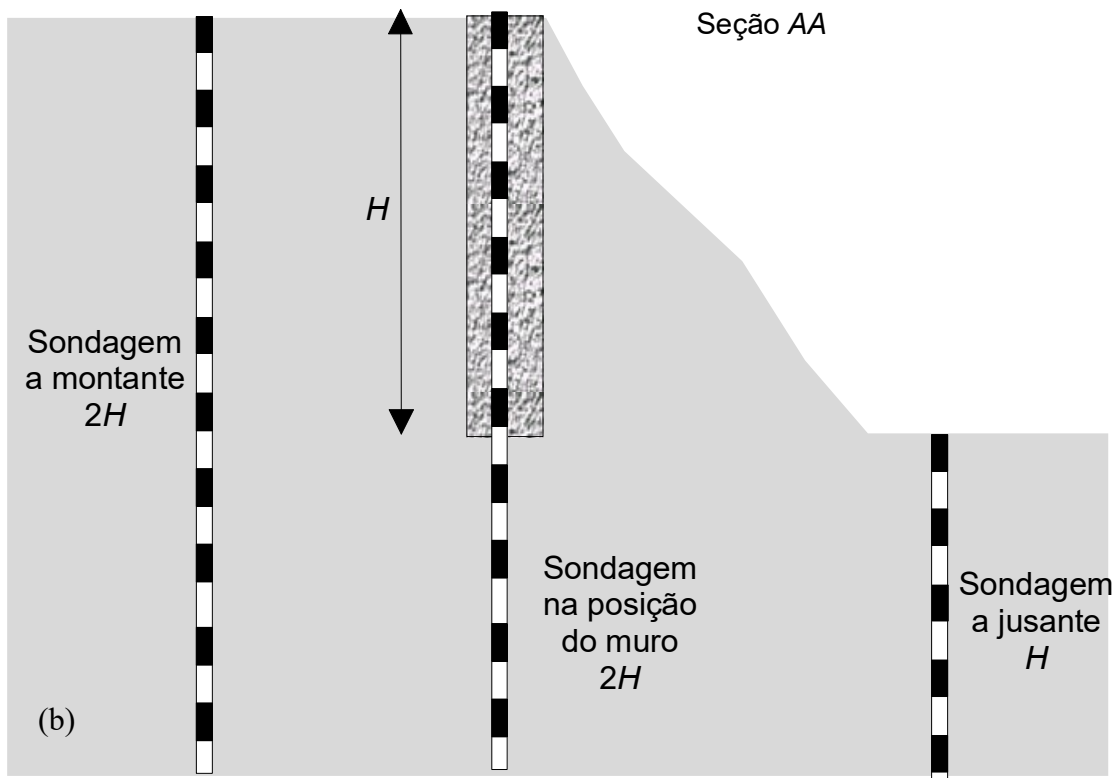
n = número de ensaios

### Crítérios de investigações a realizar

O número, tipo e localização das investigações são determinadas pelo engenheiro geotécnico responsável, com base nos resultados das inspeções preliminares. A título de exemplo, são fornecidas algumas indicações no caso de um projeto de um muro com altura  $H$  e comprimento  $L = 100$  m (Figura 4.6).



(a)



(b)

Figura 4.6 - Exemplo de programação de investigações (a) planta, (b) seção transversal



Para este caso, a programação de investigações é:

- Sondagens: seis sondagens mistas que devem atingir uma profundidade de  $2H$  ou, pelo menos 3 m em rocha.
- Todas as amostras devem ser classificadas por geólogo de engenharia, que assinará o boletim de sondagens.

### Exemplo de investigação: o escorregamento do Soberbo

Um dos casos mais interessantes e complexos de investigações geotécnicas no Rio de Janeiro foi a do escorregamento do Soberbo. O primeiro grande deslizamento neste local ocorreu em 1967, atingindo a Estrada do Soberbo e a de Furnas, ambas interrompidas (Figura 4.7). Foram, então, executadas obras de estabilização e o escorregamento foi considerado solucionado.

Anos após, os moradores da área notaram movimentos no terreno. Especialistas foram consultados e foi realizada ampla campanha de investigações com sondagens, ensaios e instrumentação com piezômetros e inclinômetros. O perfil geotécnico foi interpretado conforme indicado na Figura 4.8: uma massa coluvial sobrejacente à rocha muito fraturada. Níveis d'água muito elevados foram observados através de piezômetros instalados nos contatos litológicos. Os movimentos continuavam e eram mais acelerados durante chuvas fortes. O fenômeno foi interpretado como fluência no colúvio e por cerca de dez anos foram realizados estudos sobre este assunto.

Em 1988 ocorreu um deslizamento de grandes proporções destruindo uma cortina ancorada e interrompendo novamente o tráfego na Estrada do Soberbo (Figura 4.8).

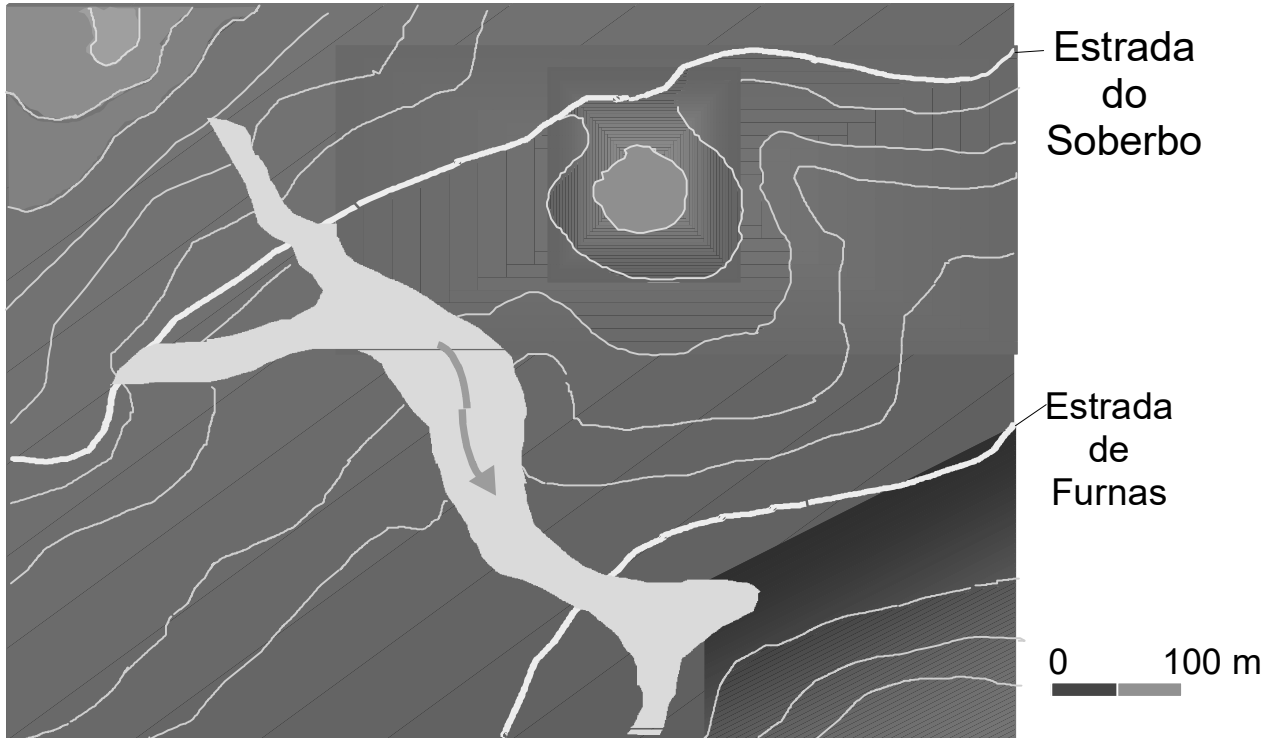


Figura 4.7 - Mapa do escorregamento do Soberbo de 1967

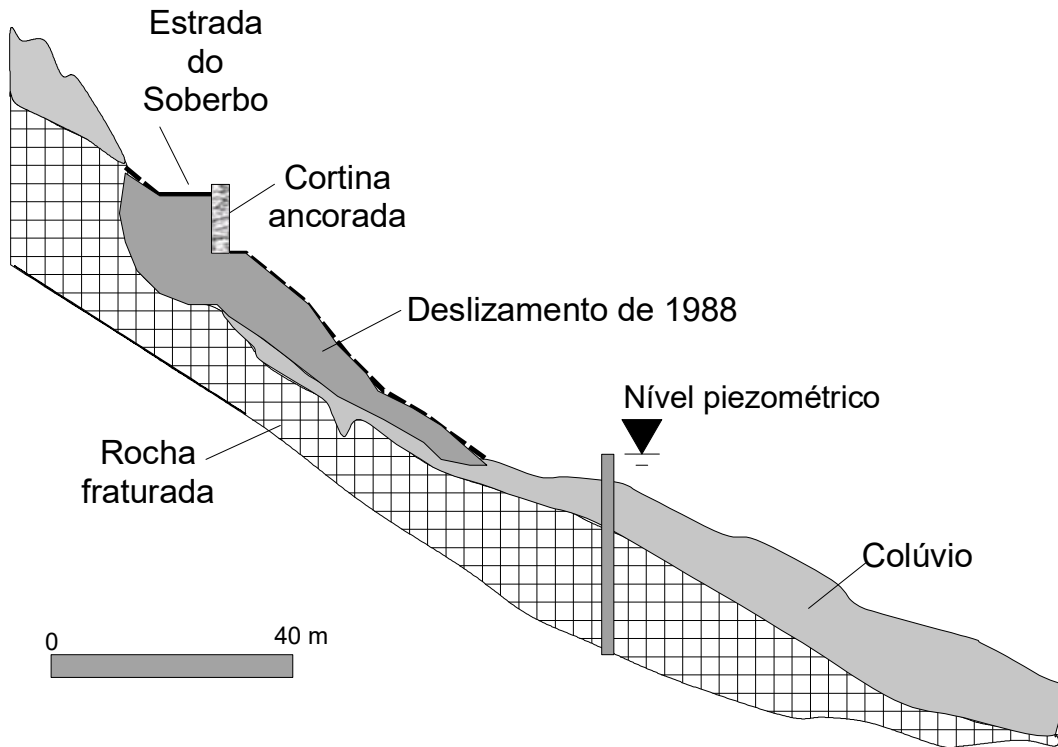


Figura 4.8 - Perfil geotécnico estudado nas décadas de 70 e 80

Barros et al, 1994 analisaram o problema e decidiram realizar sondagens rotativas inclinadas com o objetivo de localizar falhas estruturais. Descobriu-se uma família de diques de diabásio verticais com vários metros de espessura e totalmente são em uma massa rochosa fraturada (Figura 4.9). Os diques formavam uma verdadeira barragem subterrânea elevando os níveis piezométricos que provocavam deslizamentos. Uma solução provisória de drenagem profunda conseguiu estabilizar este deslizamento de causas tão complexas.

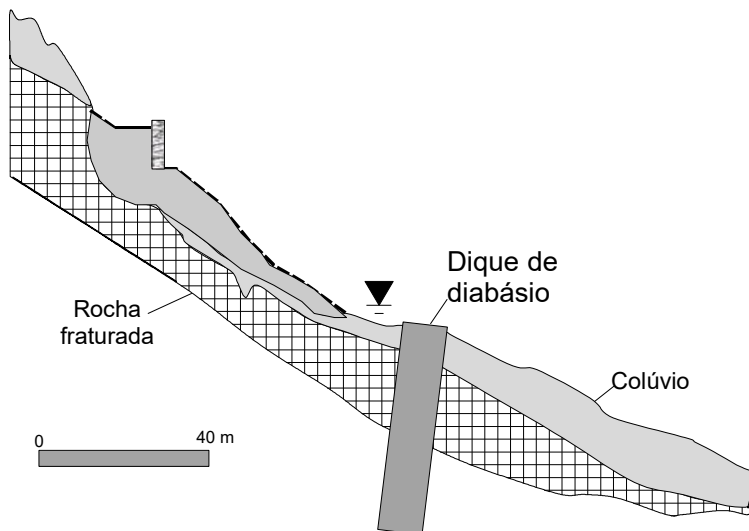


Figura 4.9 - Perfil geotécnico da década de 90, após estudo detalhado da geologia estrutural

## 5. Escolha da solução

---

### Introdução

A realização completa de um projeto de estabilização implica em três fases distintas: *diagnóstico, solução e monitoramento* (Figura 5.1). A primeira foi objeto de três capítulos anteriores deste Manual e incluem a identificação do movimento de massa somado aos estudos geológicos e geotécnicos (Figura 5.2). Ao final da fase de diagnóstico o engenheiro está de posse de todos os elementos que lhe permitem, então, decidir sobre a *solução* a adotar. Este capítulo tem por objetivo ser um guia preliminar para esta decisão.

### Fases do projeto

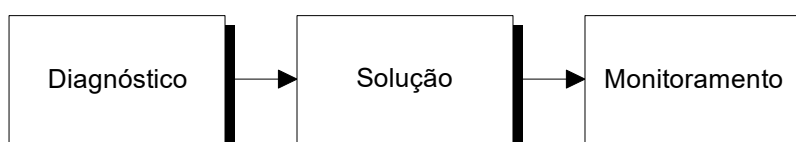


Figura 5.1 - Fases de projeto

### Diagnóstico

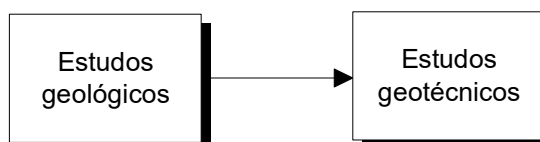


Figura 5.2 - Fase de diagnóstico

Na maioria dos casos existe mais de uma alternativa de solução. A escolha será decidida por aquela de menor custo.

A terceira fase será objeto de discussão no capítulo de Instrumentação de Taludes.

## Taludes em solo

As diversas soluções que são objeto deste Manual constam da Figura 5.3. A drenagem e a proteção superficial são soluções sempre presentes na estabilização de taludes. As demais podem variar caso a caso.

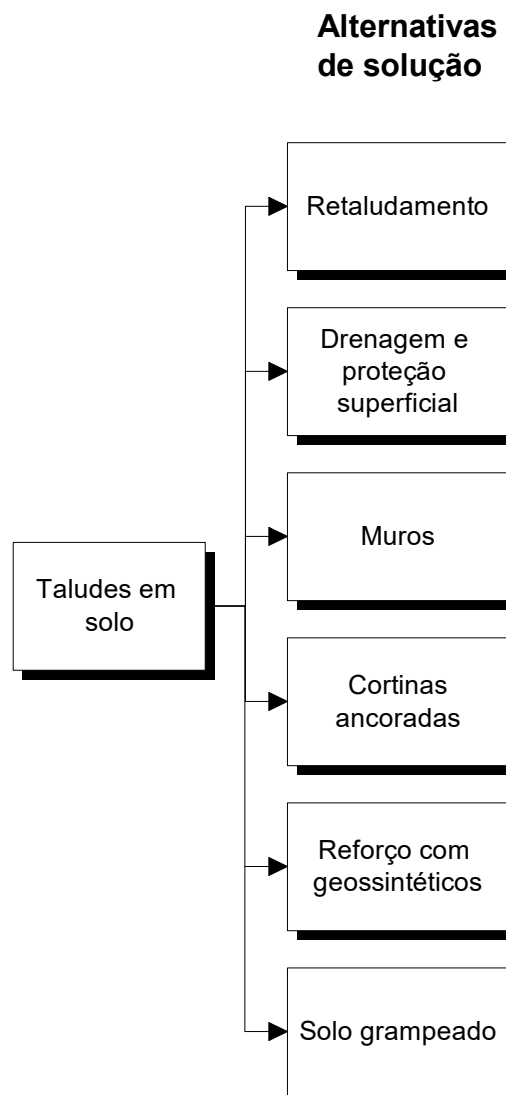


Figura 5.3 - Fase de solução, taludes em solo, alternativas

A Figura 5.4 apresenta um fluxograma para auxiliar a escolha da solução.

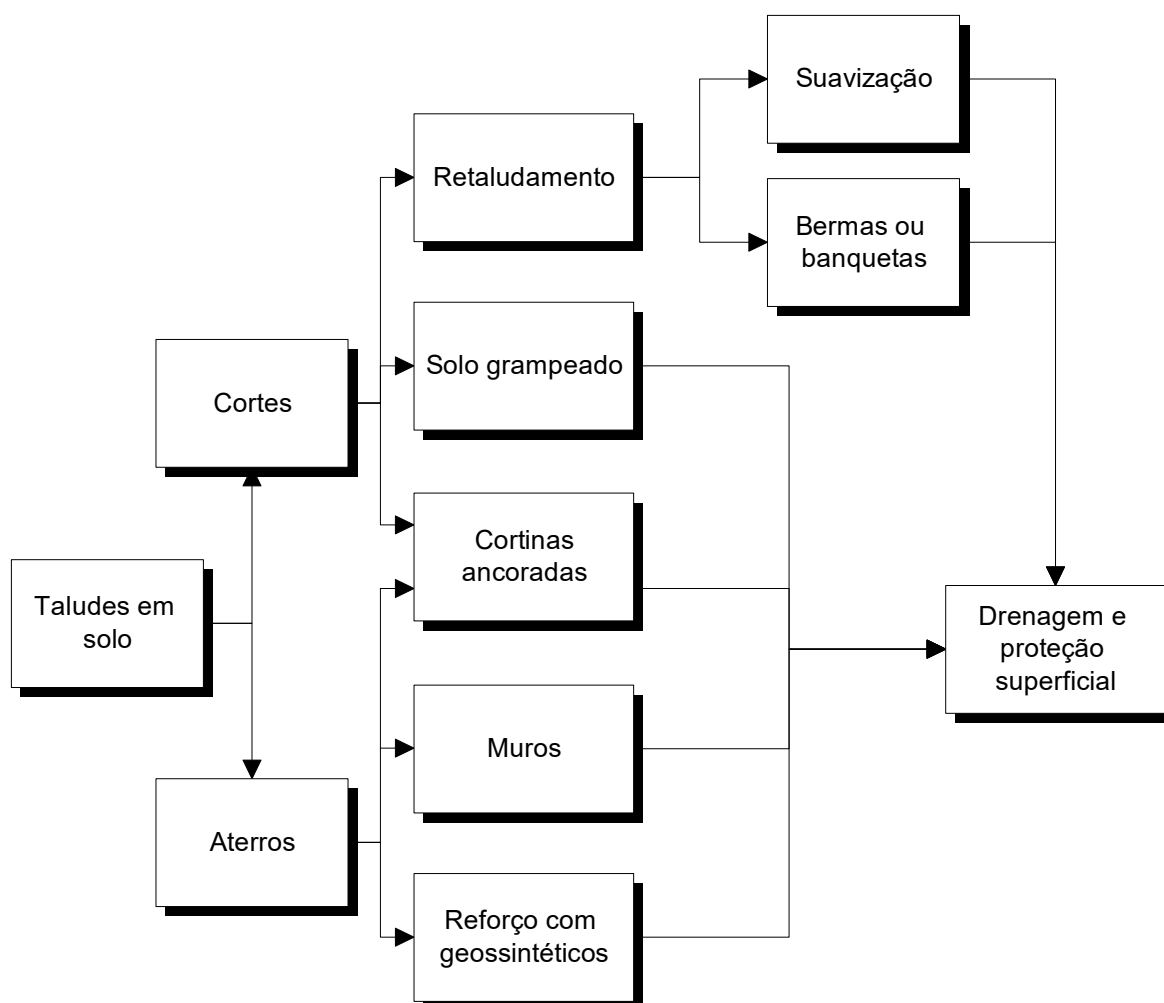


Figura 5.4 - Escolha da solução para taludes em solo

Os seguintes aspectos também são relevantes para a escolha da solução em taludes em solos:

- *Acesso e meios de transporte:* se o acesso é difícil, como frequentemente ocorre no Rio de Janeiro, pode-se utilizar meios não convencionais: através de teleféricos, pelos próprios trabalhadores, com o uso de mulas ou helicóptero (Figura 5.5). Portanto, equipamentos e materiais de maior porte são inadequados.



**Figura 5.5 - Transporte de equipamentos para locais de difícil acesso: transporte com helicóptero, mulas, teleférico e trabalhadores (Fotos GeoRio)**

- *Altura do talude*: os muros em geral são economicamente eficientes para pequenas alturas, até 3 m. Acima deste valor, as soluções de reforço de solo tendem a ser mais econômicas.
- *Drenagem*: solução presente em todos os taludes.
- *Retaludamento*: depende da disponibilidade de área livre para a implantação de novo corte e banquetas.
- *Cortinas ancoradas*: solução tradicional muito empregada pela flexibilidade de poder ser aplicada em cortes (método construtivo descendente) e aterros (método construtivo ascendente). O sistema de contenção com ancoragens pré-tensionadas é suficientemente rígido para limitar os deslocamentos do terreno. Por isso é aconselhado também em casos em que se deseja reduzir efeitos de deslocamentos em construções e fundações muito próximas.
- *Solo grampeado*: em cortes ou escavações é em geral a que apresenta o menor custo, pois os equipamentos trabalham nas banquetas do corte, sem andaimes. É facilmente aplicada a taludes inclinados, sem a necessidade cortes adicionais para a verticalização da parede.

- *Muros ou taludes de solo reforçado*: em geral a solução mais barata para aterros com alturas maiores que 3 m e com extensões maiores que 20 m. Pode-se adotar a solução de solo compactado e envelopado com geossintético. A face pode ser executada com elementos de concreto armado, pari passu ao aterro compactado, ou uma alvenaria a posteriori. O primeiro tipo pode ser aplicado mesmo em solos de fundação de baixa capacidade de carga, pois o muro resultante é muito flexível, com maior capacidade de adaptação a recalques diferenciais. Já os muros em que a face de concreto é executada à medida que o muro é construído, exigem fundação competente.

### Taludes com contato solo rocha

Taludes que apresentam contato solo-rocha, como o caso de um depósito de talus junto a uma escarpa rochosa (Figura 5.6), têm como necessidade primordial a drenagem. Nesse caso, é necessário evitar a penetração da água de chuva no talus. Isso é conseguido com a implantação de canaletas fixadas no sopé da escarpa.



Figura 5.6 - Escarpa rochosa em contato com talus (fotos GeoRio)

### Taludes em rocha

As soluções de projeto para os taludes em rocha, ou em tálus com blocos soltos, constam da Figura 5.7. A definição da solução depende de vários fatores indicados nesta figura.

Os tipos de solução foram agrupados da seguinte maneira:: *eliminação*, *estabilização* ou *convivência* (Figura 5.7). O primeiro tipo procura-se eliminar o problema (Figura 5.8), relocando-se a estrutura em risco, ou eliminando-se a causa, através do desmonte do bloco ou talude causador do risco.

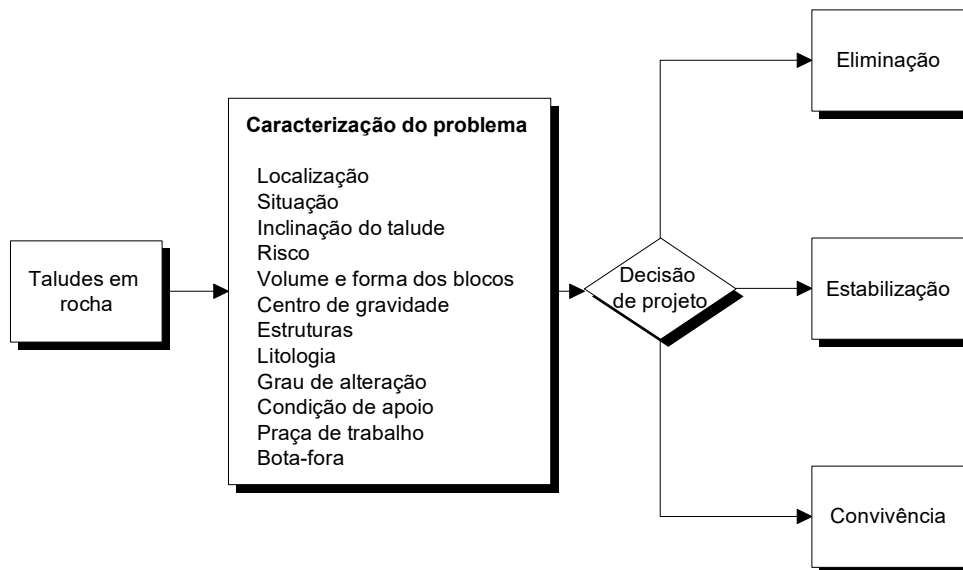


Figura 5.7 - Alternativas de solução, taludes em rocha

Nos casos em que se adota solução de estabilização do maciço, as soluções constam da Figura 5.9.

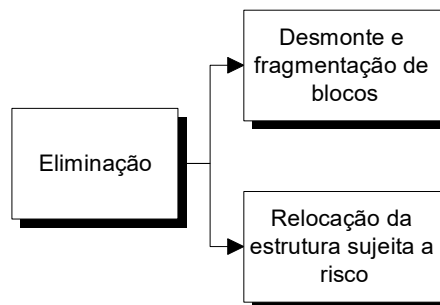


Figura 5.8 - Taludes em rocha, solução de eliminação do problema



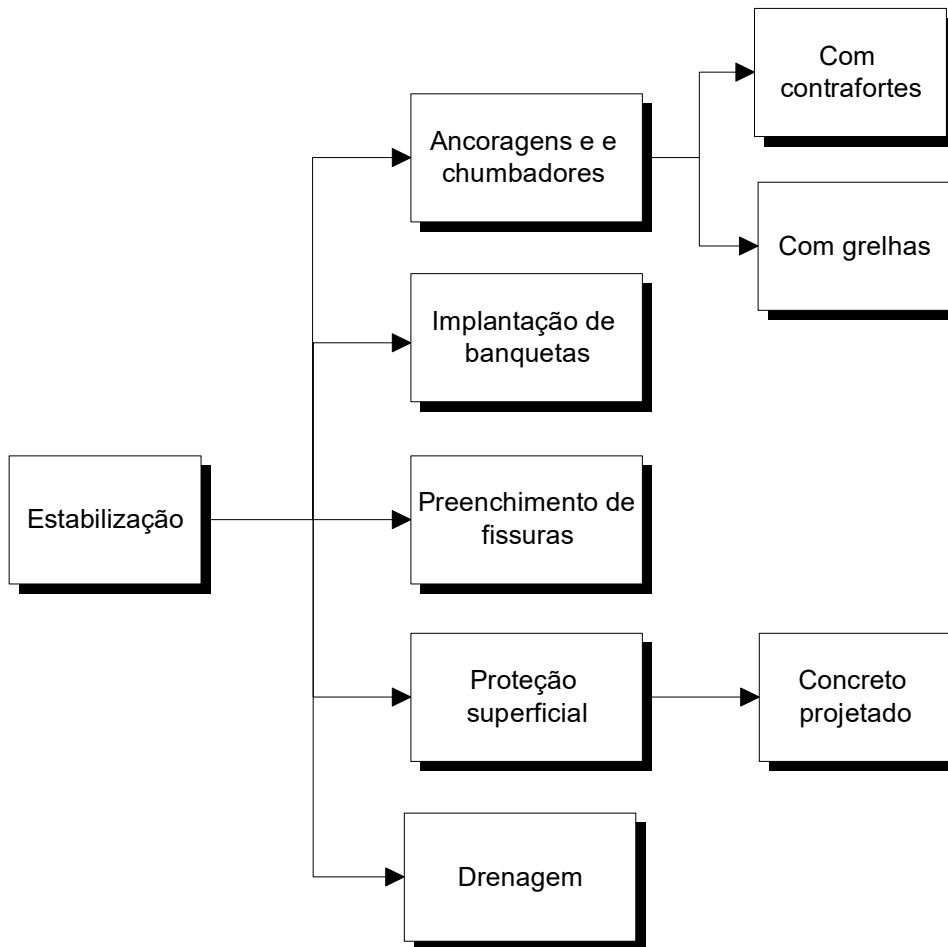
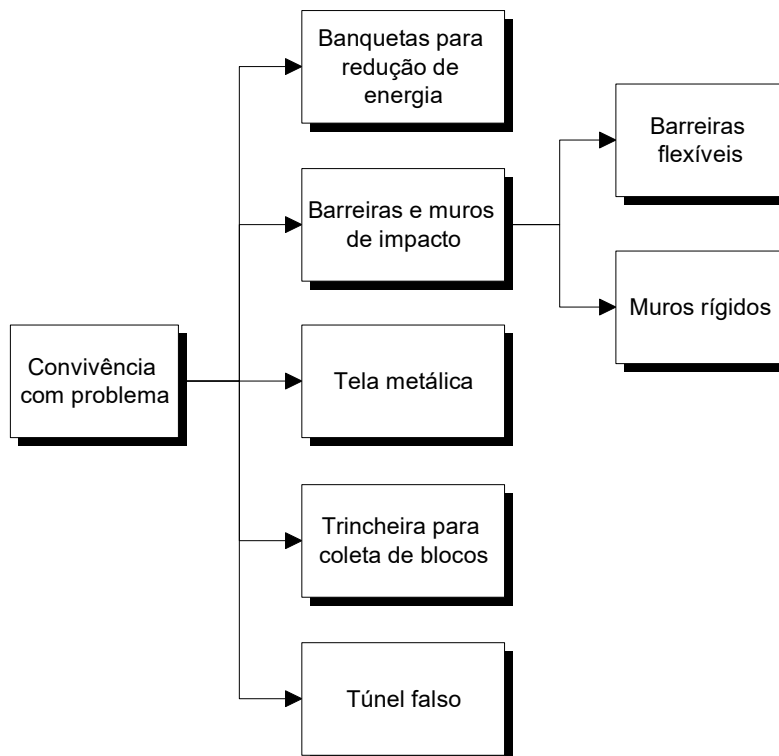


Figura 5.9 - Estabilização de taludes em rocha



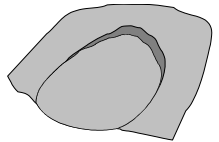
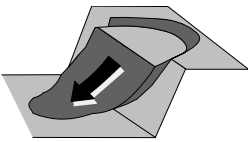
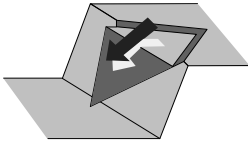
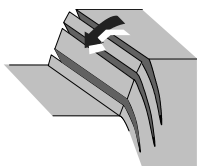
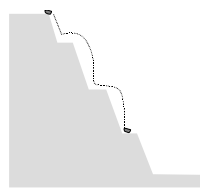
**Figura 5.10 - Taludes em rocha, convivência com o problema**

O terceiro tipo de solução para taludes em rocha é a convivência com o problema. Isso se aplica em taludes muito fraturados ou com grande quantidade de blocos soltos em que a fixação ou desmonte são antieconômicos. As alternativas de convivência com o problema constam da Figura 5.10.

**Resumo das soluções**

A Tabela 5.1 resume as soluções de estabilização de talude que constam deste Manual.

**Tabela 5.1 - Resumo das soluções de estabilização**

Material	Tipo de ruptura	Drenagem	Retaludamento	Cortinas ancoradas	Muros	Solo grampeado	Solo reforçado	Ancoragens com grelhas	Ancoragens com contrafortes	Chumbadores	Concreto projetado	Tela metálica	Remoção de blocos	Barreiras flexíveis	Muros de impacto
Solo ou rocha muito fraturada		✓	✓	✓	✓	✓	✓								
		✓	✓	✓	✓	✓	✓								
Rocha		✓						✓	✓	✓	✓				
		✓						✓	✓	✓					
															

## 6. Instrumentação de taludes

---

### Introdução

Em 1967 o escorregamento das Laranjeiras provocado pelas fortes chuvas de verão foi responsável por cerca de 190 mortes. Este fato chocou os cariocas e levou à criação do Instituto de Geotécnica, atual GeoRio. Muito se discutiu sobre instrumentação de taludes e alarme contra deslizamentos. No final dos anos 60 a GeoRio iniciou a observação de taludes com o inclinômetro. Os sistemas de instrumentação automatizados começaram a ser testados em 1992. Somente em 1996 é implantado o *Alerta-Rio*, o sistema de alerta de deslizamentos. Em 1999 a GeoRio dá mais um grande passo com a utilização do radar meteorológico.

Este capítulo discute a filosofia e as técnicas recomendadas na instrumentação de taludes e estruturas de contenção. Tanto as técnicas tradicionais quanto às mais modernas e totalmente automatizadas são apresentadas.



Figura 6.1 - Escorregamento das Laranjeiras, 1967 (foto GeoRio)

## Grandezas a medir

O principal agente causador de movimentos de massa no Rio de Janeiro é a chuva, por isso conhecer a sua intensidade e correlacioná-la com outros fenômenos resultantes é importante para interpretar a estabilidade uma encosta. Por outro lado, a previsão meteorológica de curto prazo, ou seja com poucas horas de antecedência, permite prever a chegada de grandes chuvas à cidade e é um dos mais eficazes instrumentos de alerta.

A infiltração da água no terreno provoca redução da sucção e aumento de poropressões que, por sua vez, podem causar deslocamentos e grandes movimentos. Por isso, a medição de poropressões e níveis d'água com piezômetros e indicadores de nível d'água também é necessária.

Uma vez instável, a massa de solo ou rocha se desloca. Se este movimento for muito rápido, dificilmente será observado. Entretanto em regiões de escorregamentos antigos pode haver massas que se deslocam lentamente. Nesse caso, sua observação poderá ser um fator importante na interpretação do comportamento de uma encosta. Nesse caso há grande interesse na medição de deslocamentos superficiais e profundos.

As estruturas de contenção que empregam ancoragens poderão ter o seu comportamento analisado através da medição de carga nas ancoragens e a sua variação com o tempo.

## Instrumentos

Os principais tipos de instrumentos empregados na monitoração de encostas são os pluviômetros, os piezômetros e indicadores de nível d'água, os medidores de deslocamento como os marcos superficiais e inclinômetros. São empregados também medidores de convergência, medidores de inclinação, células de carga entre outros. Para a medição do comportamento de estruturas utilizam-se ainda as células de carga. Não é objetivo deste trabalho uma cobertura detalhada de todos os aspectos ligados à instrumentação geotécnica. O leitor que precisar de mais detalhes sugere-se os livros de Hanna (1985) e Dunicliff (1988). Este trabalho se concentrará nos instrumentos mais empregados e na experiência atual da GeoRio com o sistema Alerta-Rio e a instrumentação da encosta do Itanhangá.

### Pluviômetro

Os pluviômetros mais comuns, denominados de *Ville de Paris* pelo hidrólogos, são do tipo gangorra ou balança. A chuva penetra por um funil no topo com 200 mm de diâmetro e atingem um pequeno reservatório. Quando este está preenchido, balança e permite o acionamento de um contato elétrico que fornece um pulso para o sistema de aquisição de dados. A contagem dos pulsos em um determinado período permite determinar a chuva acumulada e a intensidade da mesma. A acurácia do instrumento é da ordem de 0,5 mm de chuva.

Os instrumentos modernos como o indicado na Figura 6.2. dispõem de sistema de aquisição de dados e podem ou não ser dotados de um sistema de telemetria automática e painel solar para alimentação das baterias



**Figura 6.2 - Pluviômetros empregados pela GeoRio**

### **Piezômetros**

Os diversos tipos de piezômetros e as suas aplicações em geotecnia foram revistos por Ortigão (1975). As modificações introduzidas desde então nos sistemas de piezômetros foram poucas, mas os instrumentos elétricos tiveram um avanço enorme graças à eletrônica moderna. Pode parecer paradoxal, mas alguns dos tipos mais antigos, um denominado de corda vibrante e desenvolvido na França nos anos 30, outro nos EUA nos anos 40 por Casagrande, são os mais utilizados e mais confiáveis. O primeiro tipo, foi reabilitado com o advento da eletrônica, e é um dos mais empregados nos anos 90. Os denominados Casagrande são os mais simples e mais confiáveis e, portanto, muito utilizados.

Existem outros tipos de piezômetro que tendem a ser menos empregados, como os hidráulicos de dois tubos e os pneumáticos. Os primeiros foram muito usados em barragens e obras de solo mole até os anos 70 (Ortigão et al, 1983, Ortigão, 1988), mas tem instalação e operação complexa. Os instrumentos pneumáticos vem sendo pouco a pouco substituídos pelos elétricos por serem mais fáceis de instalar, operar e automatizar.

### ***Piezômetro de tubo aberto***

O piezômetro de tubo aberto (Figura 6.3) consta de um tubo vertical ligado a uma ponta porosa por onde a água pode livremente entrar ou sair. Mede-se a poropressão através da altura de coluna d'água no tubo.

A leitura é realizada com um instrumento indicador de nível d'água que consta de um torpedo contendo uma chave elétrica, um fio graduado e um carretel. Quando o torpedo atinge a água do tubo de acesso, fecha-se um circuito elétrico que toca a buzina no carretel. Com isso determina-se a profundidade do nível d'água no tubo.

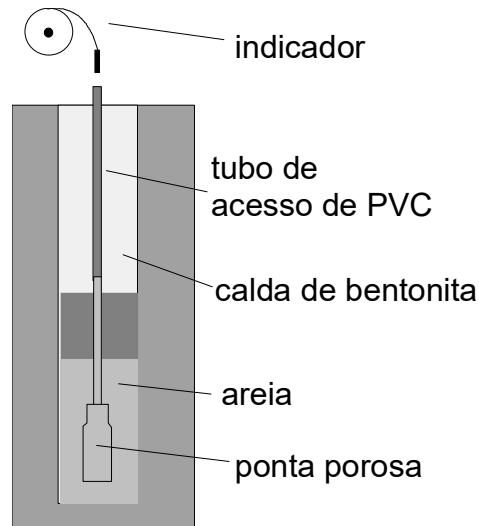


Figura 6.3 - Piezômetro de tubo aberto

### Instalação do piezômetro

Executa-se furo por percussão ou rotativa com diâmetro entre 75 a 100 mm. Não se deve usar lama de perfuração que poderia impermeabilizar as paredes do furo e prejudicar o funcionamento do instrumento. Estando o furo pronto, instala-se um tubo de acesso vertical de PVC com diâmetro entre 12 e 32 mm tendo na sua extremidade o elemento poroso, por onde a água entra ou sai do instrumento (Figura 6.4, Fase 1). Em seguida executa-se o bulbo de areia em geral com um metro de altura com areia grossa lavada (Fase 2).

A fase 3 consta do selo impermeável com bolas de bentonita com altura de pelo menos de 0,5 m. Na fase 4 o furo é preenchido até a superfície com calda de bentonita-cimento na relação 10:1 em volume. Finalmente (fase 5) executa-se uma caixa de proteção.

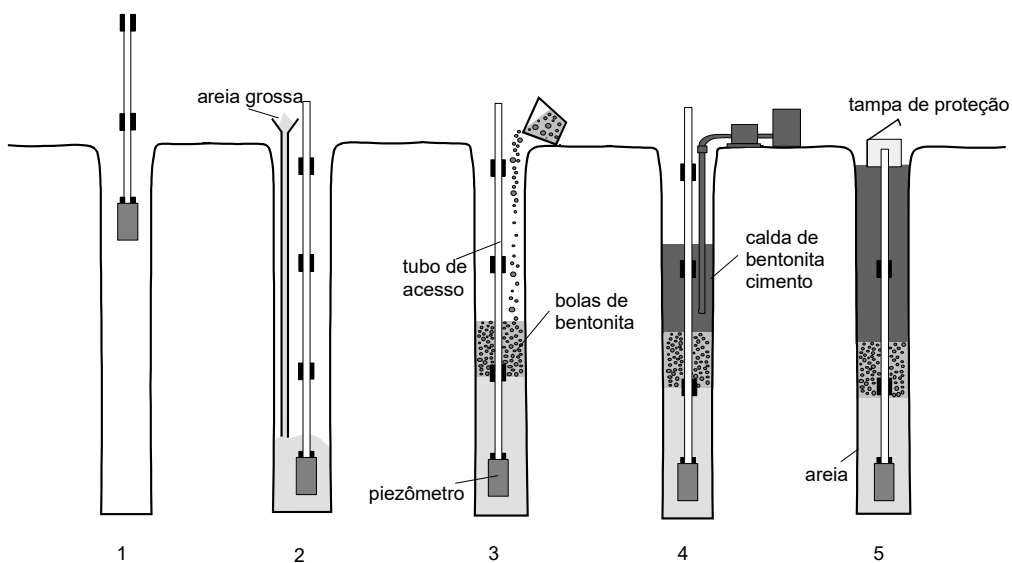


Figura 6.4 - Fases de instalação de um piezômetro de tubo aberto

### ***Vantagens e desvantagens***

O piezômetro de tubo aberto apresenta as seguintes vantagens:

- Simples, baixo custo;
- Bastante confiável;
- Auto-desaerável, ou seja, eventuais bolhas de ar que se formem, podem escapar pelo tubo de acesso, desde o mesmo tenha diâmetro igual ou superior a 12 mm.

Por outro lado, este instrumento apresenta as seguintes limitações:

- Tubulação vertical pode interferir com a construção
- Tempo de resposta muito grande se instalado em solos de baixa permeabilidade.

O tempo de resposta de um piezômetro ( $\Delta t_{res}$ ) é definido como o intervalo de tempo que este instrumento leva para indicar uma variação de poropressão que ocorreu no terreno. Depende do tempo que a água leva para entrar ou sair do sistema. Em solos finos,  $\Delta t_{res}$  pode ser muito grande em certos tipos de piezômetros e isto deve ser considerado na fase de seleção do tipo de instrumento. O piezômetro Casagrande necessita de um grande volume de água entrar ou sair do tubo de acesso para indicar uma variação de poropressão. Por isso, pode ter um tempo de resposta de semanas em solos de baixa permeabilidade, o que é uma desvantagem.

### ***Indicador de nível d'água (INA)***

O indicador de nível d'água (INA) é uma variação do piezômetro de tubo aberto. Tem o mesmo princípio de funcionamento, mas com um bulbo de maior comprimento, situado na região de variação do NA.

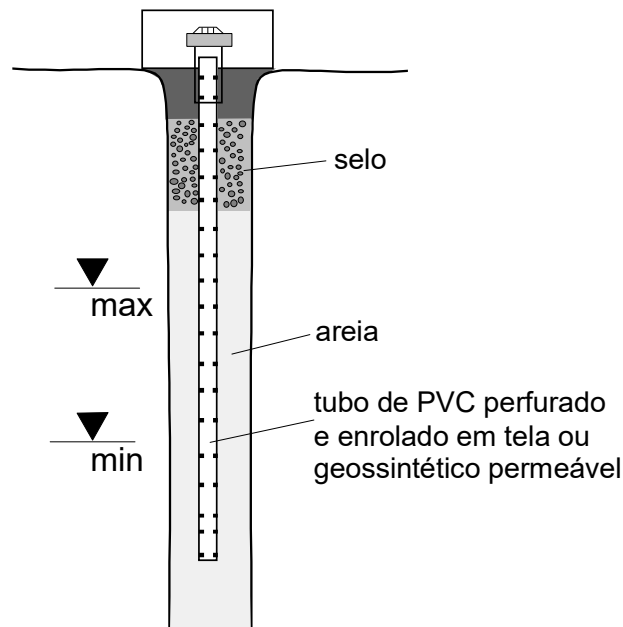


Figura 6.5 - Indicador de nível d'água INA

### ***Piezômetro elétrico de corda vibrante***

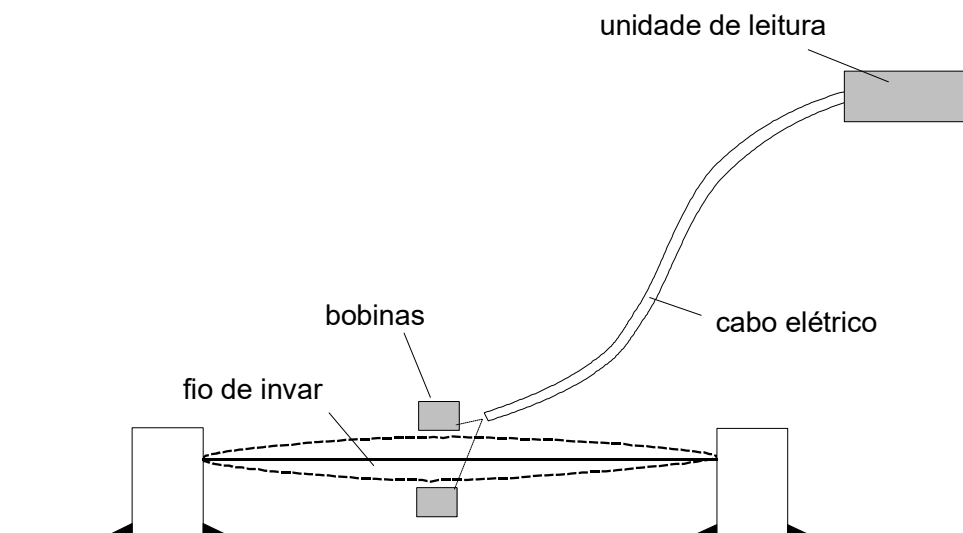
Os piezômetros elétricos de corda vibrante foram desenvolvidos originalmente nos anos 30 na França. Utilizam o princípio que está presente em qualquer instrumento de corda, ou seja, a frequência de vibração depende da tensão aplicada na corda.



**Figura 6.6 - Exemplo de piezômetros elétricos de corda vibrante e unidade de leitura portátil**

A Figura 6.6 mostra exemplos de piezômetro elétrico de corda vibrante e unidade de leitura.

Um fio de invar é fixado em duas extremidades e fica livre para vibrar na sua frequência natural. Tal qual uma corda de piano, a frequência varia com a tensão aplicada e isso permite medir movimentos relativos muito pequenos entre as duas extremidades. Em última análise funciona como um extensômetro em que a deformação é medida pela variação da frequência de vibração. A medição se dá magneticamente no meio da corda onde está instalado uma bobina elétrica. Uma segunda bobina serve para medir a frequência de vibração.



**Figura 6.7 - Princípio de funcionamento do instrumento de corda vibrante**

A relação entre frequência e deformação específica é dada pela seguinte equação:



$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Eg\varepsilon}{\rho}}$$

onde

$f$  = frequência de vibração ( $s^{-1}$ )

$L$  = comprimento da corda (m)

$E$  = módulo de Young da corda (GPa)

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$\varepsilon$  = deformação específica

$\rho$  = massa específica da corda ( $Gg/m^3$ )

Rearranjando os termos da equação anterior, obtém-se:

$$\varepsilon = K(f^2 - f_0^2)$$

onde:

$$K = \frac{4L^2 \rho}{Eg}$$

$f_0$  = é a frequência inicial

### ***Vantagens do sistema de corda vibrante***

As principais vantagens do sistema de corda vibrante são a estabilidade com o tempo e o sinal de frequência. A experiência demonstra que os instrumentos elétricos de corda vibrante são muito estáveis com o tempo, sua calibração permanece inalterada por anos e anos, ao contrário dos instrumentos resistivos que têm maior suscetibilidade à deriva e à perda de acurácia com o tempo (Dunnicliff, 1988).

Os sinais elétricos podem ser de voltagem, corrente ou frequência. O sinal de frequência, empregado nos instrumentos de corda vibrante, pode ser transmitidos por cabo a distâncias muito grandes, até 2 km, sem perda da qualidade e sem sofrer influência da resistência do cabo. Outra característica do sinal de frequência é totalmente imune à entrada de umidade ou mesmo presença de água em contato com os fios que compõem o cabo.

Outra vantagem importante é a possibilidade de automação das leituras. Com o barateamento da eletrônica os sistemas automatizados de leitura estão cada vez mais sendo empregados em obras que há dez anos seria impossível pensar em tal sofisticação. Como os custos de pessoal para efetuar leituras são altos, os sistemas automatizados estão se tornando mais competitivos.

### ***Proteção elétrica***

Na década de 70 houve no Brasil alguns relatos de problemas com instrumentos de origem alemã e francesa instalados em usinas hidrelétricas que queimaram devido a descargas elétricas (Ortigão, 1975). Isso ocorria devido a qualidade dos sistemas de proteção elétrica que se usava na época estar bem aquém do que se faz hoje. A engenharia eletrônica avançou muito e com

ele os sistemas de proteção. Hoje existem os varistores de plasma e outros dispositivos que descarregam para a malha de aterramento qualquer descarga excessiva (Figura 6.8).

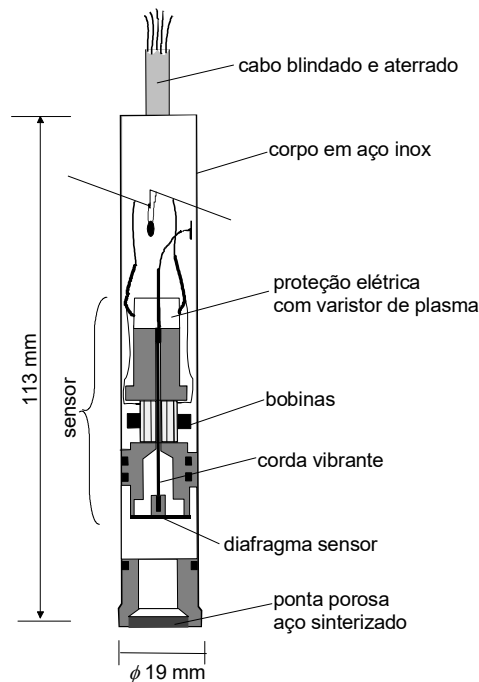


Figura 6.8 - Piezômetro elétrico de corda vibrante

Os instrumentos que foram empregados na instrumentação instalada pela GeoRio na Encosta do Itanhangá (Ortigão et al, 1997), possuem vários níveis de proteção elétrica e com isso não sofreram nenhum dano, apesar de muitos raios terem caído no local.

As proteções constam de:

1. Cabos blindados e aterrados
2. Proteção embarcada no sensor (Figura 6.8), composta de varistor de plasma, conectado ao terra do cabo;
3. Dispositivo eletrônico de proteção na superfície no local do instrumento (Figura 6.9);
4. Aterramento junto ao instrumento (Figura 6.9);
5. Dispositivo eletrônico de proteção e aterramento da unidade de leitura (Figura 6.9).

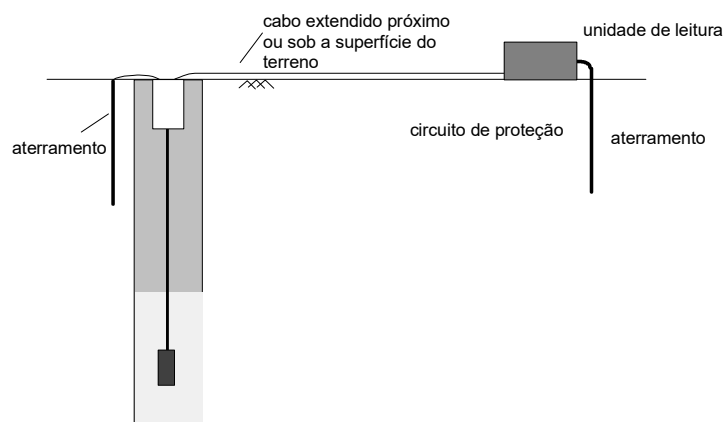


Figura 6.9 - Proteção elétrica dos instrumentos de corda vibrante

Na instrumentação do Itanhangá queda de raios, devido à proteção, não causou nenhum problema aos instrumentos. O mesmo tipo de proteção está empregado na rede de pluviômetros, também com bons resultados.

### **Instalação do piezômetro**

As fases de instalação (Figura 6.10) são:

1. Inserir o sensor previamente saturado dentro do furo;
2. Depositar areia grossa lavada no furo formando o bulbo de areia com 1 m de altura;
3. Jogar bolas de bentonita, formando um selo com pelo menos 0,5 m de altura;
4. Inserir uma calda grossa de bentonita, injetando sem pressão com a bomba através de mangueira de injeção, preenchendo todo o furo;
5. Instalar o terminal de leituras nas imediações, conectando os cabos.

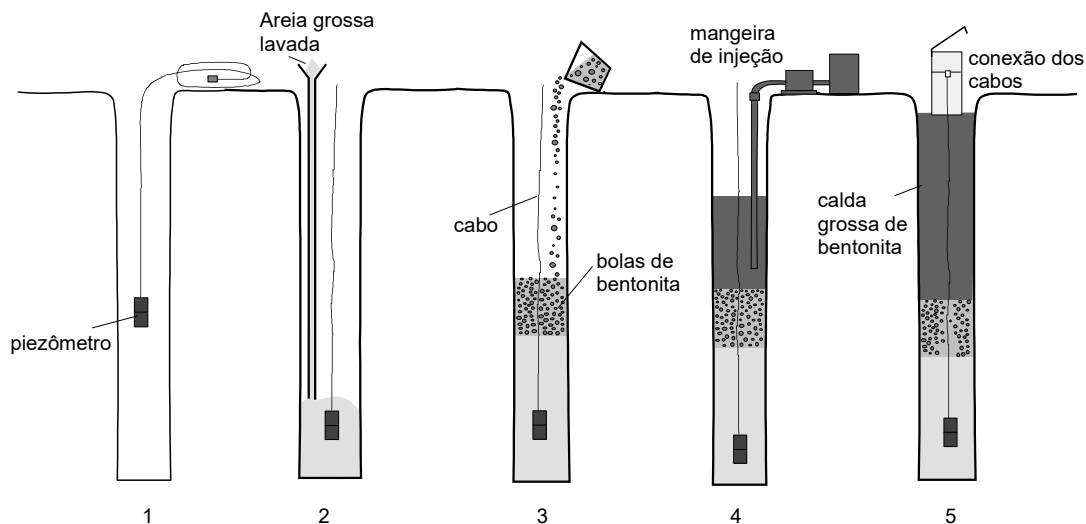


Figura 6.10 - Fases de instalação de piezômetro elétrico

O piezômetro elétrico de corda vibrante também pode ser empregado para automatizar um piezômetro Casagrande, bastando para isso instalar o sensor dentro do tubo de acesso daquele piezômetro.

### **Inclinômetros**

O inclinômetro é um instrumento que serve para medir deslocamentos horizontais dentro do terreno. Permite localizar a profundidade da superfície de ruptura e saber, com várias leituras versus tempo, como estão progredindo os movimentos de uma encosta. Por essas razões, é um instrumento dos mais importantes com presença certa na maioria das obras geotécnicas.

A Figura 6.11 apresenta as partes em que compõem o equipamento: um torpedo sensor de inclinação, cabo elétrico, unidade de leitura e os tubos de acesso ranhurados. O esquema de instalação consta da Figura 6.12.



Figura 6.11 - Inclinação: torpede, unidade de leitura automática, tubos de acesso

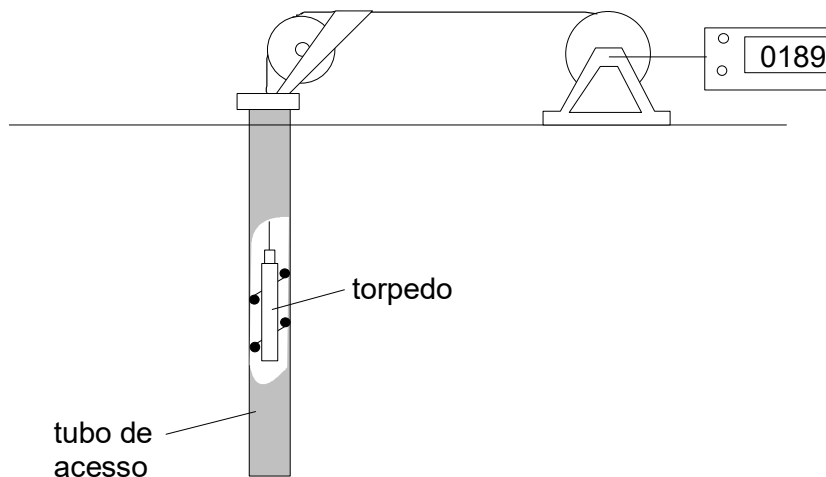


Figura 6.12 - Esquema de funcionamento do inclinômetro

### ***Instalação do tubo de acesso***

O tubo de acesso é instalado previamente no terreno através de furo com pelo menos 100 mm de diâmetro até uma profundidade tal que atravesse o campo de deslocamentos previstos para a obra. A extremidade inferior do tubo deve ser localizada em região do terreno que não se deve deslocar. Este tubo é de alumínio ou plástico com diâmetro da ordem de 80 mm e possui quatro ranhuras diametralmente opostas que servem para guiar o instrumento durante as leituras. O tubo é orientado por ocasião da instalação de tal forma que as ranhuras concordem com os eixos principais da obra.

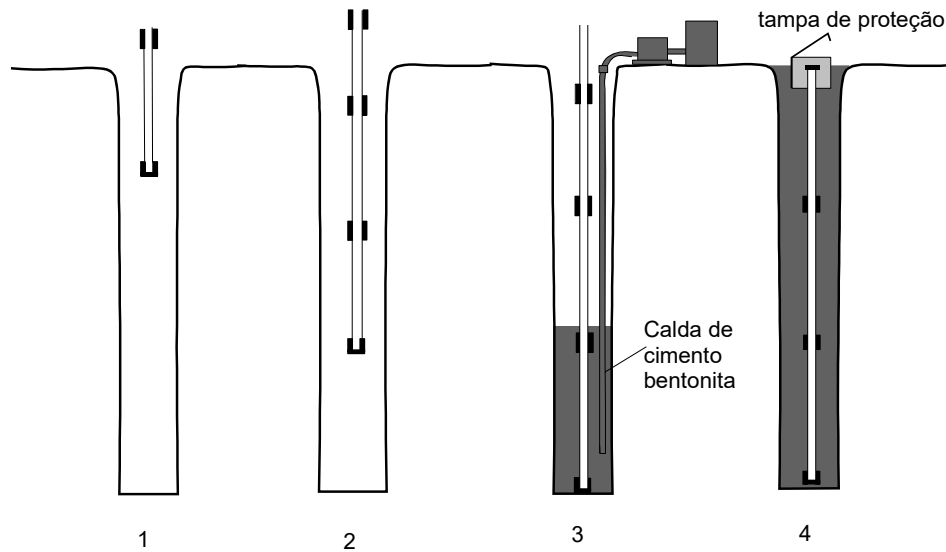


Figura 6.13 - Fases de instalação do tubo de acesso

As fases de instalação do tubo de acesso (Figura 6.13) constam de:

1. Introdução do tubo de acesso no furo, mantendo o alinhamento das ranhuras conforme os eixos principais da obra;
2. Adicionar mais segmentos de tubo, rebitando-os ou unindo de acordo com as recomendações do fabricante do tubo;
3. Preencher totalmente o espaço anelar entre o tubo e as paredes do furo com calda de cimento-bentonita (1:10) que deve ser aplicada pelo método ascendente e através de mangueira de injeção;
4. Instalar caixa de proteção.

### ***Torpedo de leituras e medições***

O torpedo padrão tem 25 mm de diâmetro é do tipo deslizante, percorrendo o tubo de baixo para cima efetuando as leituras conforme indicado na Figura 6.14. O sensor é guiado por rodinhas auto-alinháveis que mantêm o instrumento posicionado no centro do tubo. A distância entre rodinhas ( $L$ ) é, em geral, de 0,5 m, correspondente à distância entre duas leituras consecutivas.

A unidade de leitura convencionais são de leitura manual. A da Figura 6.11 é do tipo automático, sendo as leituras são registradas na memória interna ao se acionar um botão. Posteriormente, os dados são transferidos para um micro tipo PC por cabo serial.

O cálculo dos deslocamentos é muito simples e está apresentada na Figura 6.14 através da equação:

$$\delta_h = L \sum \sin \theta$$

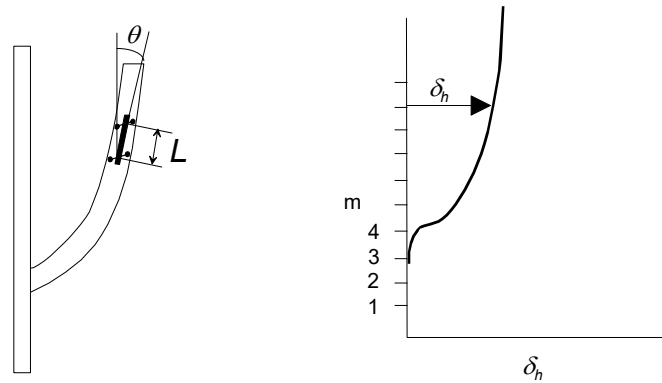


Figura 6.14 - Cálculo dos deslocamentos com o inclinômetro

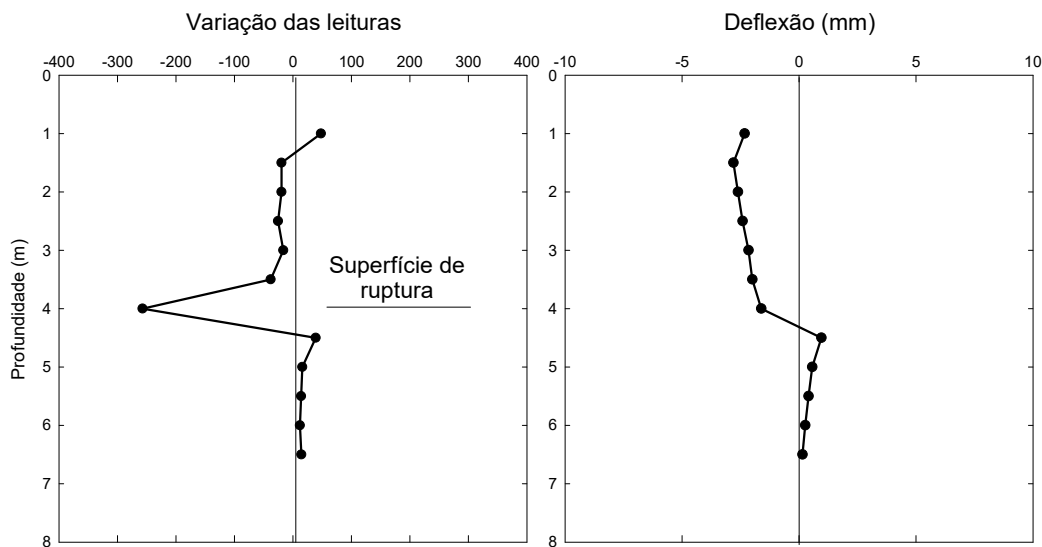


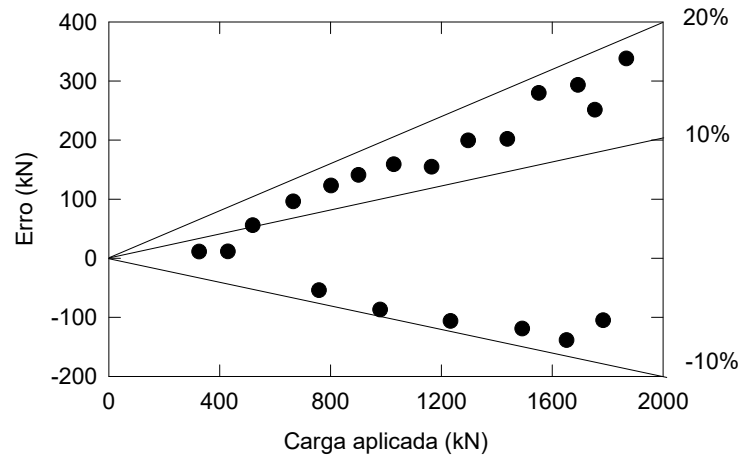
Figura 6.15 - Resultados de leituras e deslocamentos com o inclinômetro

A Figura 6.15 demonstra um resultado típico de inclinômetro em que se localizou a superfície de ruptura pela variação brusca das inclinações medidas.

### Células de carga

As células de carga são empregadas em obras de cortinas ancoradas e solo grampeado com o objetivo de monitorar as cargas nos tirantes e grampos, seja para a fase de testes de controle de qualidade ou ao longo da vida útil da estrutura.

O uso de macacos hidráulicos, mesmo que somente para ensaios, leva a erros enormes que facilmente atingem a 20% da carga conforme exemplificado na Figura 6.16. Mesmo com a aferição do macaco não se elimina o erro, pois a sua maior parcela é causada pelo desalinhamento da carga, fazendo com que o pistão seja submetido a uma força lateral que aumenta consideravelmente o atrito. A solução é o uso de uma célula de carga.



**Figura 6.16 - Erros devido ao uso de macacos hidráulicos (Ortigão, 1997)**

As células de carga elétricas de corda vibrante (Figura 6.17) tem grande acurácia e são relativamente baratas. A Figura 6.18 apresenta exemplo de utilização em ensaios de ancoragem.



**Figura 6.17 - Células de carga de corda vibrante**



**Figura 6.18 - Exemplo de emprego de célula de carga de corda vibrante em ensaio de tração**

A Figura 6.18 apresenta a instalação de uma célula de carga para a observação de cargas em ensaio de ancoragem. A célula deve ser posicionada entre duas placas de aço rígidas de apoio com espessura maior que 30 mm. Com isso evita-se a possibilidade de torção da célula quando carregada.

### **Medição de deslocamentos superficiais**

Deslocamentos na superfície do terreno podem ser observados através de marcos topográficos ou superficiais.

Um método bastante promissor foi sugerido por Ávila et al (1992) e consiste na utilização de marcos eletrônicos que se comunicam por telemetria.

### **Sistemas de alarme**

Veja na Figura 6.19 a ruptura catastrófica que ocorreu em 1988. A encosta à montante do prédio no Rio de Janeiro deslizou sem qualquer aviso. Um programa de instrumentação de encostas em um caso como este teria pouca utilidade, pois é impossível praticamente impossível prever situações de risco como esta. Os instrumentos não teriam indicado nada de útil antes, pois o fenômeno foi muito brusco, sem aviso. Pelas razões expostas o Rio de Janeiro tem adotado a seguinte filosofia:

- Alarme por área
- Instrumentação em uma encosta específica



**Figura 6.19 - Ruptura em encosta Av Epitácio Pessoa, 1988**

### ***Conceito de alarme por área***

O conceito de alarme por área deriva da observação de inúmeros acidentes imprevisíveis em Hong Kong (Malone, 1988, Premchitt, 1988 e Kay et al 1995) e no Rio de Janeiro, causados



por grandes chuvas de verão. Nesse caso, medir a chuva é monitorar o agente deflagrador do escorregamento.

Muitos outros fatores, tais como a declividade do talude, tipo de solo ou rocha e condições na superfície do talude influenciam no risco. Entretanto, a inclusão dos mesmos no sistema de alarme o tornaria muito mais complexo, se não impraticável.

O sistema de alerta do Rio de Janeiro recebeu o nome de *Alerta-Rio* (D'Orsi et al, 1997). Consta de uma rede de pluviômetros automáticos (Figura 6.2) que enviam a cada 15 minutos os resultados para uma estação central (Figura 6.21). Os operadores acompanham o progresso da chuva sobre a cidade através do computador que mostra uma série de gráficos (Figura 6.22) . O sistema funciona também automaticamente, sem a intervenção de operador, e envia alertas para a equipe técnica que decide o alarme, assim que uma situação de grande chuva for detectada.

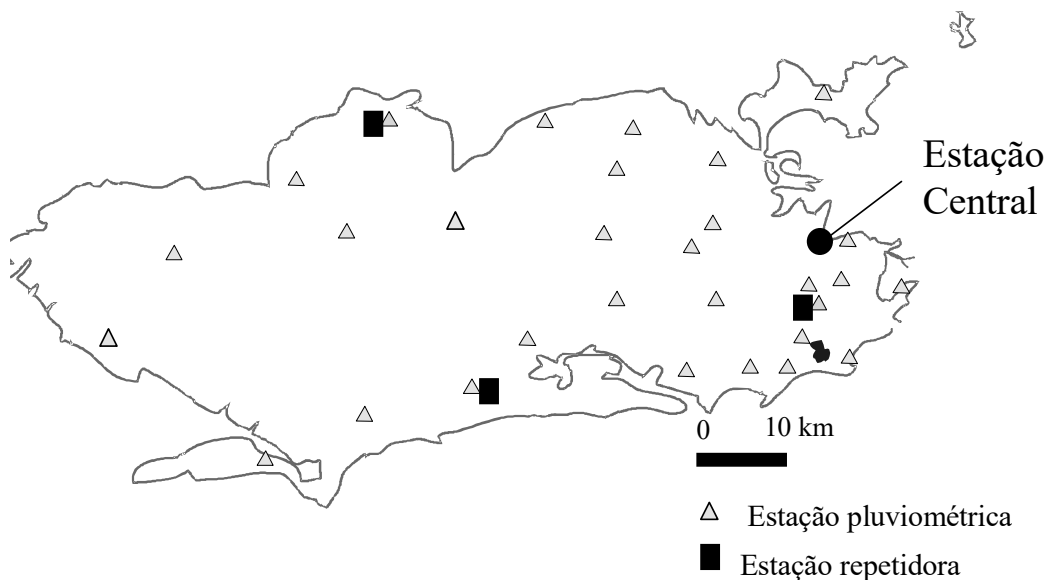


Figura 6.20 - Rede de pluviômetros do Rio de Janeiro



Figura 6.21 - Sala de controle do Alerta-Rio

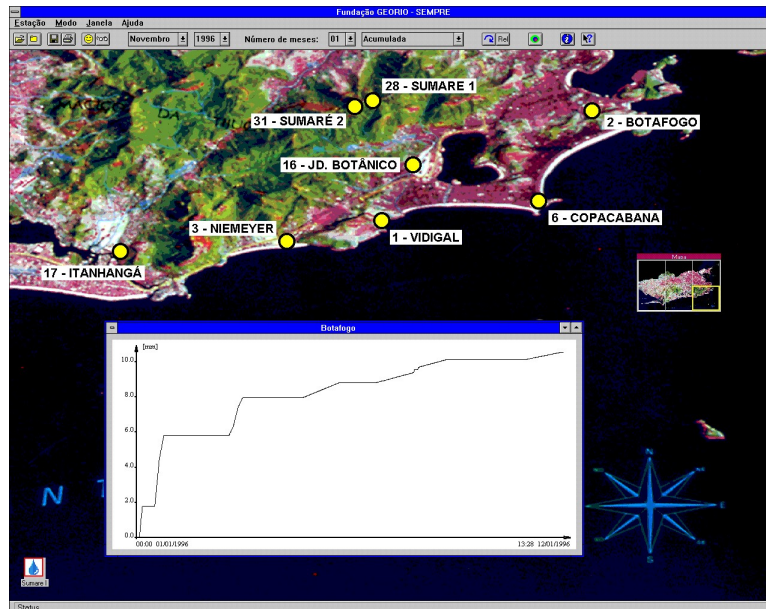


Figura 6.22 - Tela do computador do Alerta-Rio

### Níveis críticos de precipitação

Os níveis críticos de precipitação são determinados com base na experiência acumulada e são específicos de um local ou área. Não podem ser extrapolados de um local para outro. No início da operação do Alerta-Rio foi difícil determinar os critérios de alarme, pois não havia dados em quantidade e qualidade necessária. O critério inicial foi baseado na experiência de outras cidades com problemas semelhantes (D'Orsi et al, 1997).

Após dois anos de operação do Alerta-Rio cerca de 30 acidentes foram registrados e os critérios foram, então, reanalisados. Os resultados constam da Figura 6.23 em que está plotada relação

entre a chuva antecedente de 24 horas ao evento em função da chuva antecedente de quatro dias. Os acidentes são também representados e se procura obter uma relação ou limite de deslizamento. Analogamente, utiliza-se uma relação com a chuva antecedente de quatro dias.

À medida que se obtém novos dados, o critério deverá ser reavaliado.

O alarme deve ser emitido bem antes do critério de deslizamento ser atingido, por isso se adota o valor de 75% como nível de decisão de emissão do alarme.

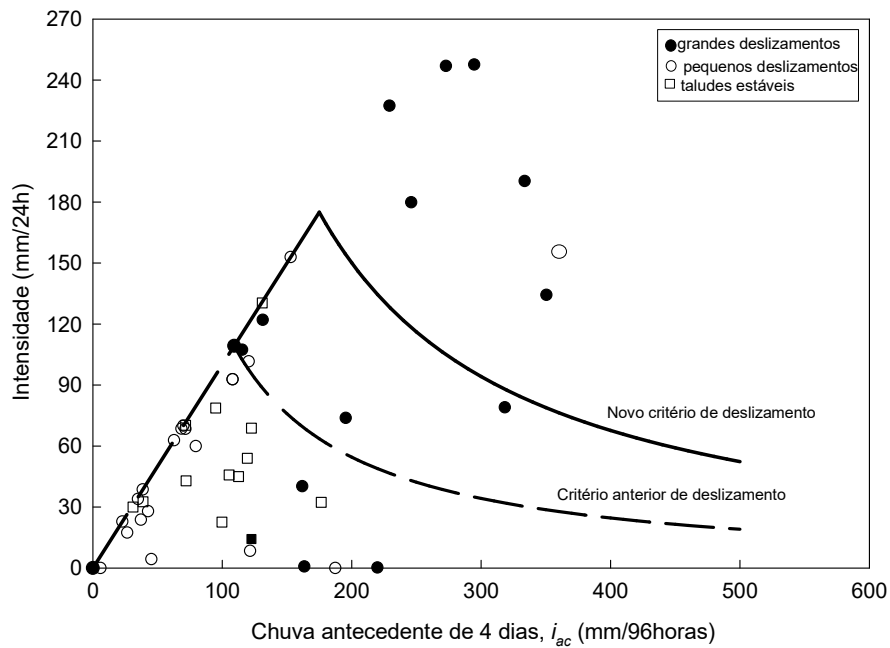
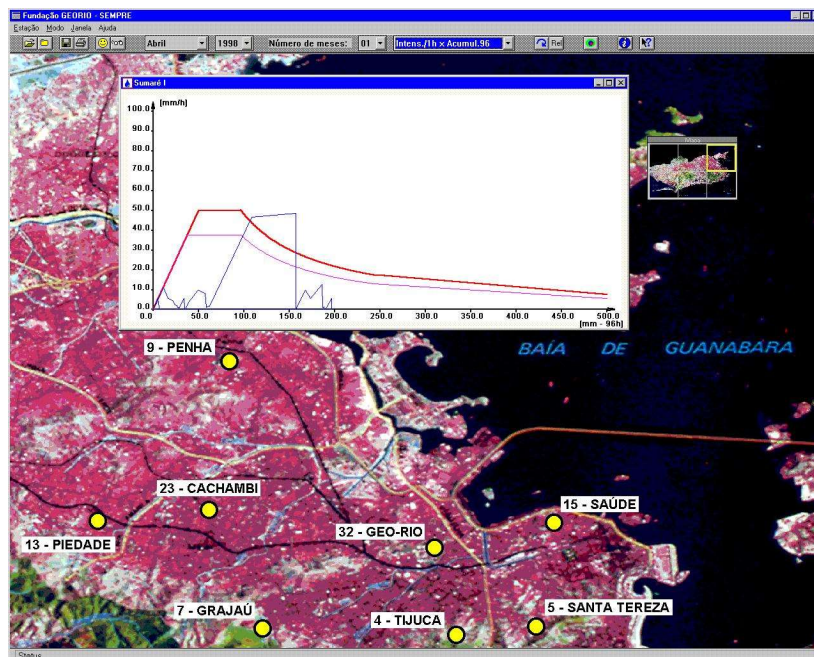


Figura 6.23 - Critério atual (1999) de alarme de deslizamento adotado na GeoRio



**Figura 6.24 - Alerta-Rio: exemplo de gráfico da chuva de 1 hora versus chuva acumulada de 4 dias**

### **Previsão meteorológica de curto prazo**

A partir de janeiro de 1999 a GeoRio conta com um sistema de previsão meteorológica de curto prazo com base em radar meteorológico instalado no Pico do Couto, Terezópolis. O equipamento empregado é um radar Doppler digital que envia as imagens para a sala de controle da GeoRio e os dados são analisados por meteorologistas. O objetivo é uma previsão de curto prazo, ou seja, com antecedência de quatro a seis horas na previsão de chuvas intensas no Rio de Janeiro.

Enquanto o radar mede o potencial de ocorrência de uma chuva e a aproximação da frente, a rede de pluviômetros mede quanto está chovendo. Os dados pluviométricos são também empregados na calibração dos modelos matemáticos de previsão meteorológica.

### **Instrumentação automática de encostas específicas**

Além do alarme por área, há necessidade de instrumentar algumas encostas específicas. Este trabalho tem dois objetivos principais:

- Observar encostas com uma história de movimentos para o acompanhamento dos efeitos da estabilização principalmente na evolução dos deslocamentos horizontais e poropressões.
- Desenvolvimento de estudos e pesquisas.
- Monitoramento de cargas em ancoragens.

O assunto será tratado através do exemplo da encosta do Itanhangá.

#### ***Monitoramento da encosta do Itanhangá***

A encosta do Itanhangá sofreu movimentos durante chuvas fortes em 67, 88 e 92, com danos a várias casas e pavimentos. Por isso foi instrumentada em 1996 e as medições continuam até a presente data (1999). Ortigão et al (1997) apresentam um relato completo sobre o assunto. A instrumentação automática remota constou de três estações com leitura automática de inclinômetros e piezômetros. A Figura 6.25 e Figura 6.26 apresentam planta da área do deslizamento e seção transversal com a localização dos instrumentos.

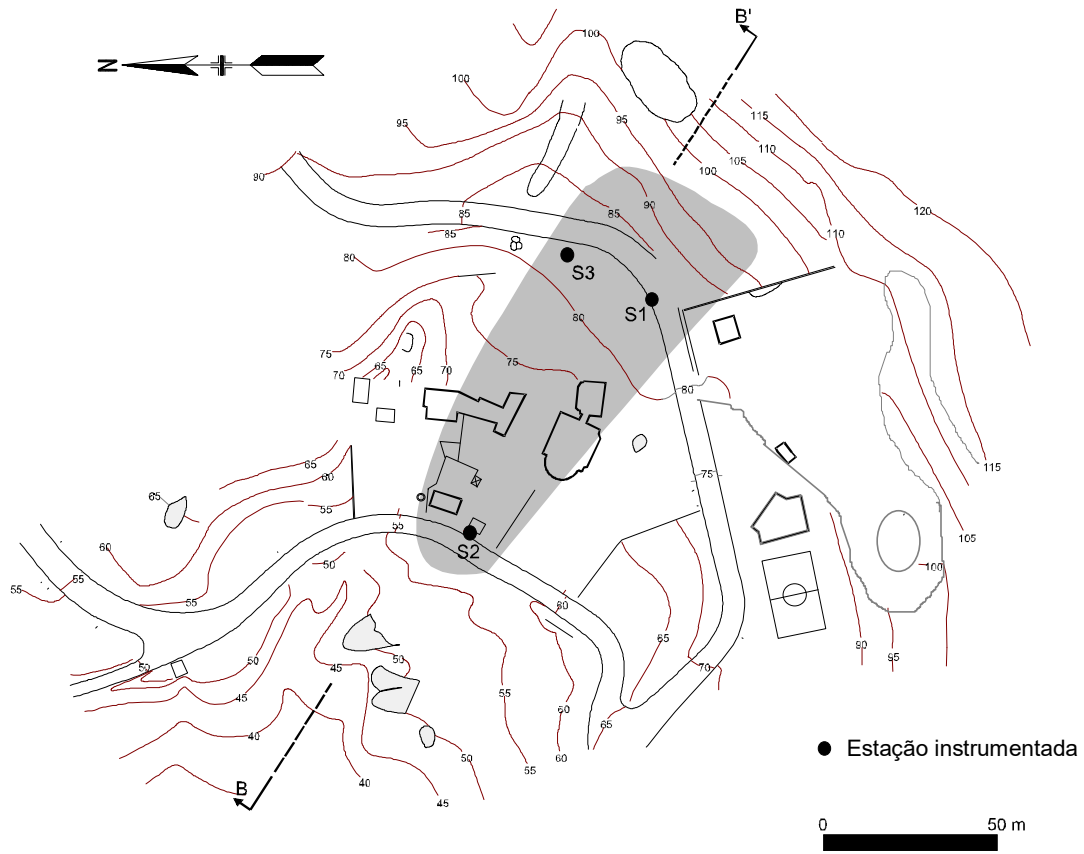


Figura 6.25 - Encosta do Itanhangá

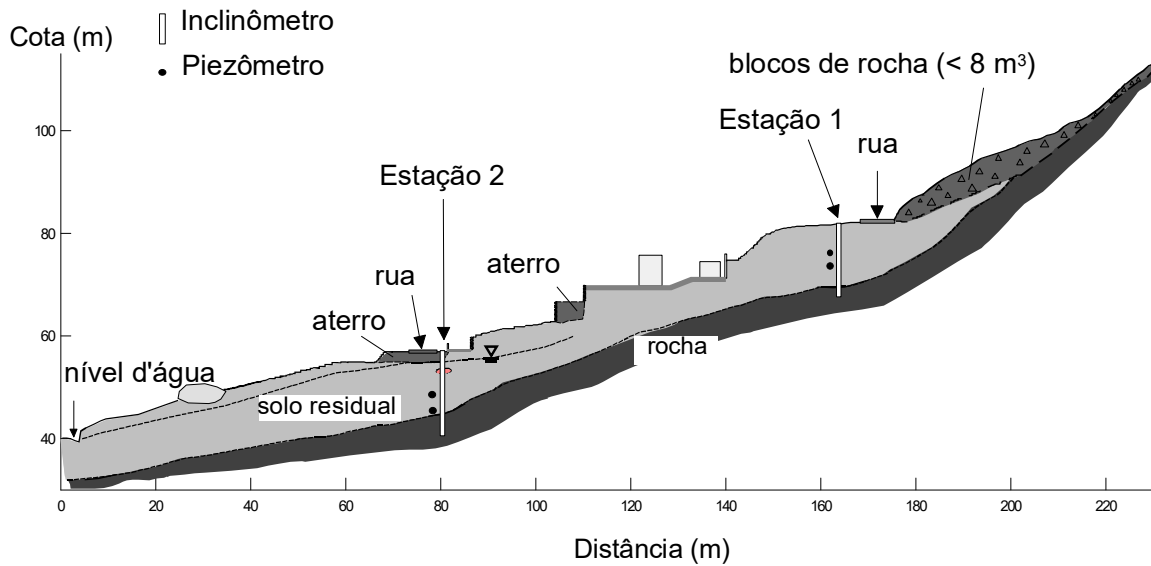


Figura 6.26 - Seção transversal Encosta do Itanhangá

Os inclinômetros foram automatizados através do *Cliper* (Figura 6.27 e Figura 6.28) que consta de um trem de sensores de rotação com um metro de comprimento. Os sensores são denominados de eletrônicos e tem sido muito empregados na medição de rotação (eg, Ortigao et al, 1993, Campanella et al, 1994).

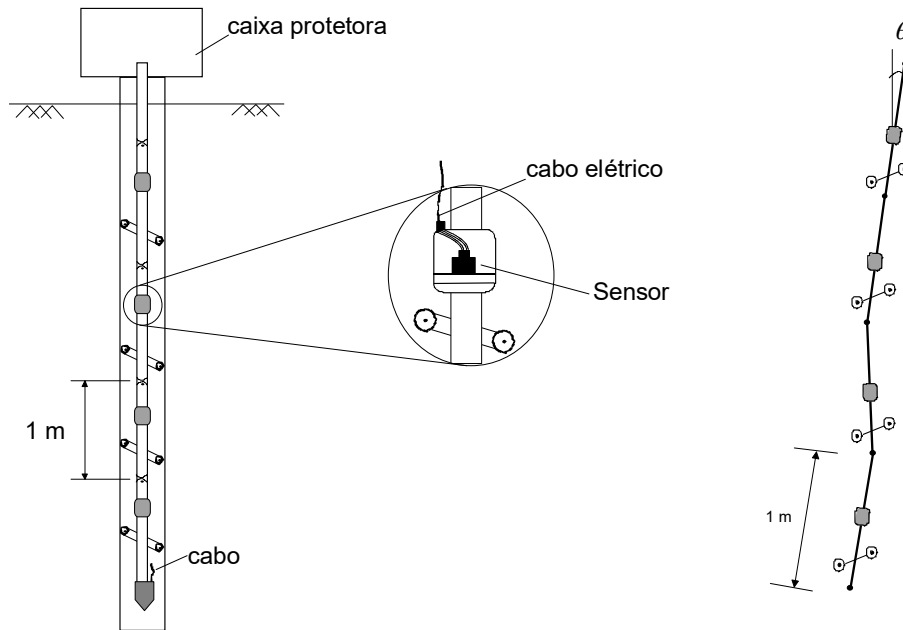


Figura 6.27 - Cliper Inclinômetro permanente



Figura 6.28 - Instalação do Cliper

A Figura 6.29 apresenta os instrumentos que compõem uma estação: dois piezômetros, o inclinômetro Cliper sendo instalado e à direita a unidade de aquisição de dados.



Figura 6.29 - Instalação da instrumentação, Encosta do Itanhagá

As estações enviam os dados através de rádio para uma estação concentradora instalada no local, que por sua vez envia todos os registros via modem e linha privada telefônica para a Estação Central localizada na GeoRio (Figura 6.30).

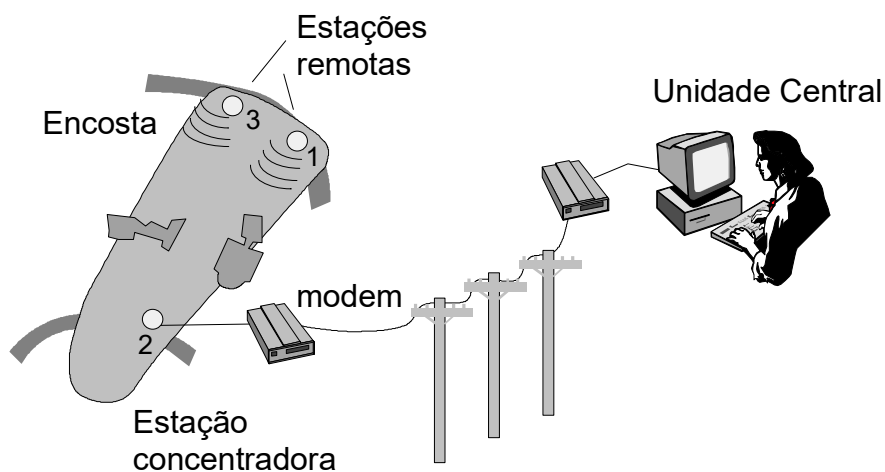


Figura 6.30 - Esquema de transmissão de dados do Itanhagá

### ***Unidade Central***

A unidade central que funciona na GeoRio recebe os dados em um microcomputador tipo PC e realiza várias operações como: verificação e armazenamento, back-up, apresentação dos dados na tela, impressão de resultados.



Os programas funcionam em ambiente Windows e duas telas são comentadas aqui. A Figura 6.31 demonstra a primeira tela do programa que apresenta a localização dos instrumentos em planta. Clicando-se sobre um instrumento na tela com o mouse, pode-se obter um gráfico de dados do instrumento versus um período determinado (Figura 6.32).

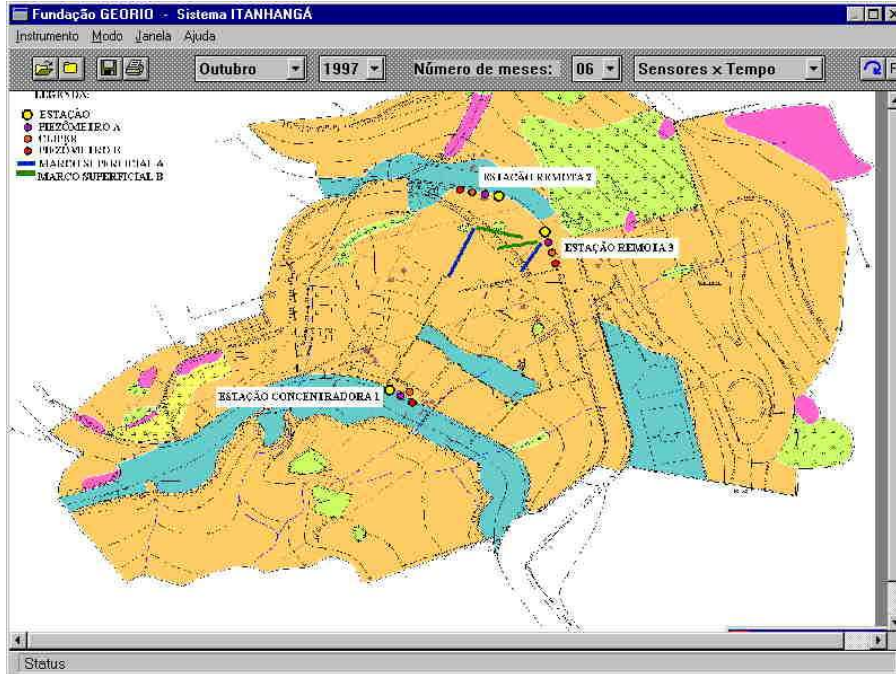


Figura 6.31 - Tela do programa gerenciador de dados, Encosta do Itanhanga

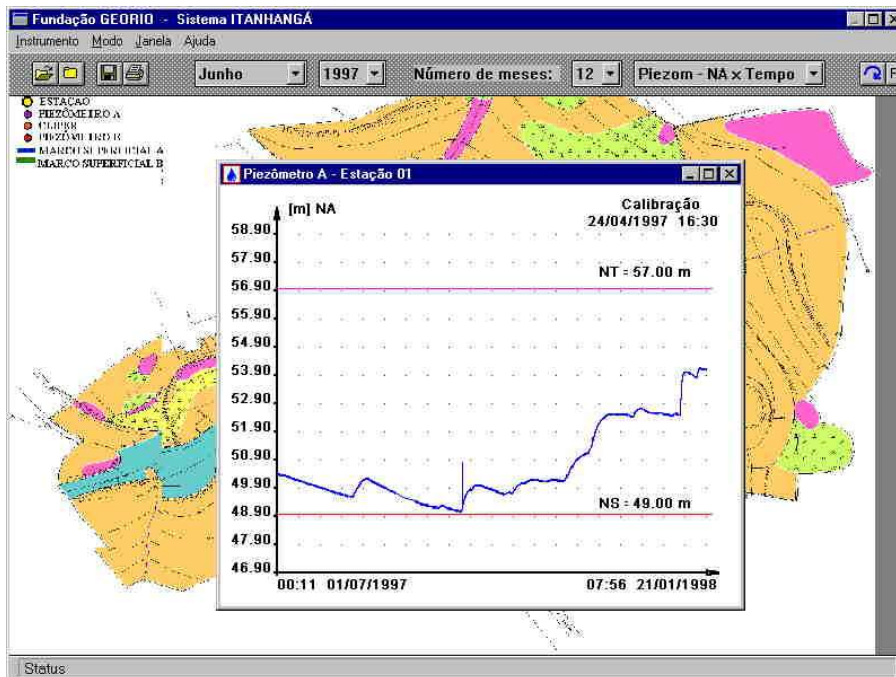


Figura 6.32 - Exemplo de tela com dados de piezômetros, Encosta do Itanhanga



### Exemplo de resultados

A Figura 6.33 à Figura 6.35 apresentam da instrumentação do Itanhangá. Na primeira estação plotados resultados de poropressões na parte inferior da encosta, onde o nível d'água é mais elevado. A influência da precipitação nos valores de poropressão é muito claro, os piezômetros respondem rapidamente à chuva, mas o piezômetro *A* tem tempo de resposta bem menor.

A Figura 6.35 demonstra que não se mede o nível d'água nos piezômetros instalados na parte alta da encosta, exceto por um curto período de tempo sob as chuvas fortes de Janeiro. Os piezômetros *A* e *B* (Figura 6.35) começaram a ser afetados pela chuva por volta das 12-13 horas e as pressões estavam totalmente dissipadas por volta das 4 horas do dia seguinte.

Esses dados demonstram claramente as vantagens de uma instrumentação automática.

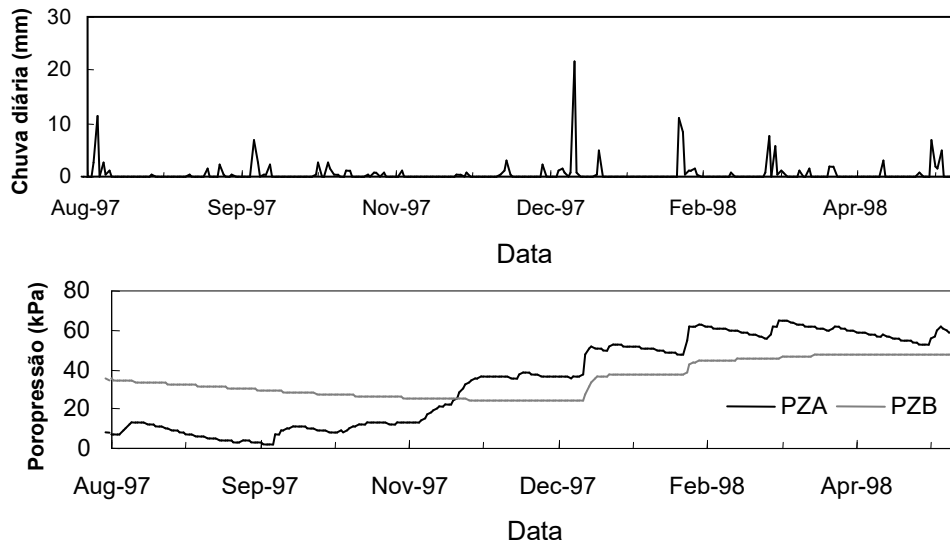


Figura 6.33 - Resultados de poropressões e precipitação versus tempo, Encosta do Itanhangá

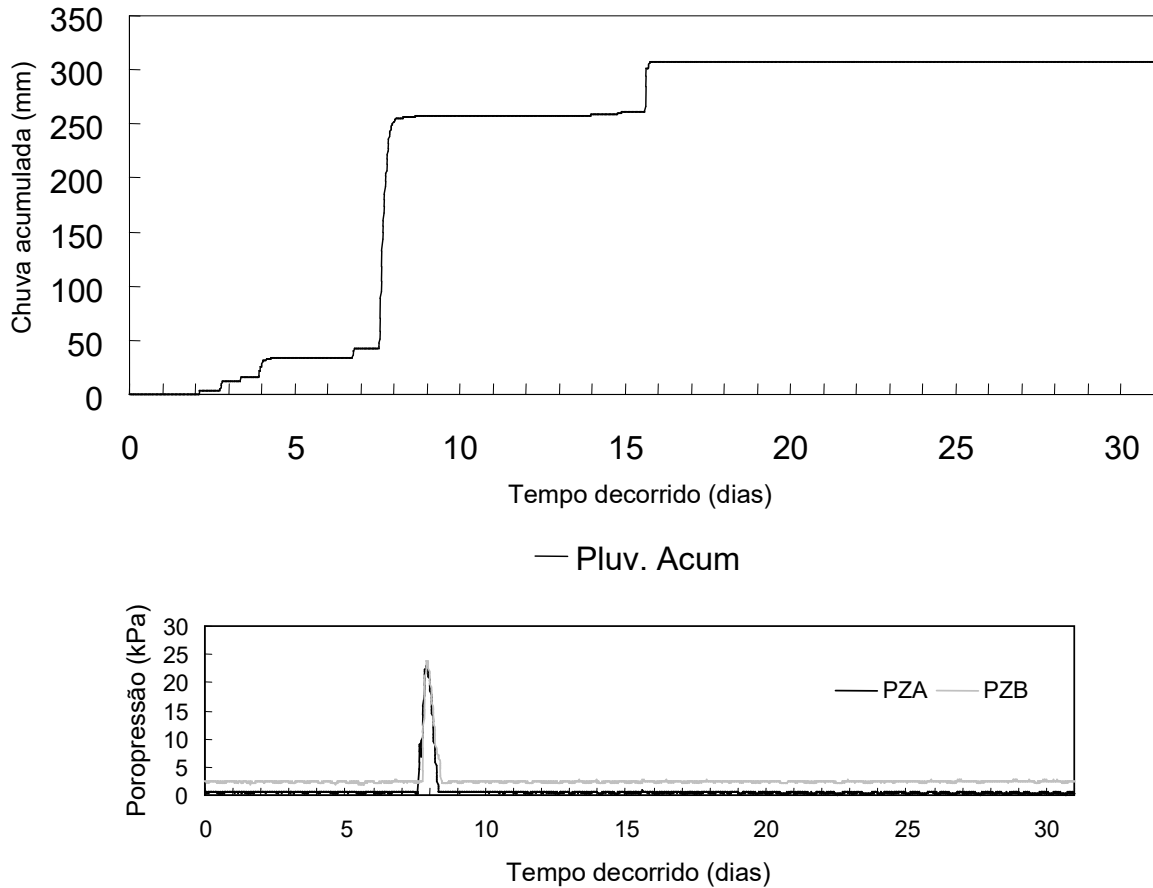


Figura 6.34 - Poropressões e precipitação, Estação 2, topo da Encosta do Itanhangá

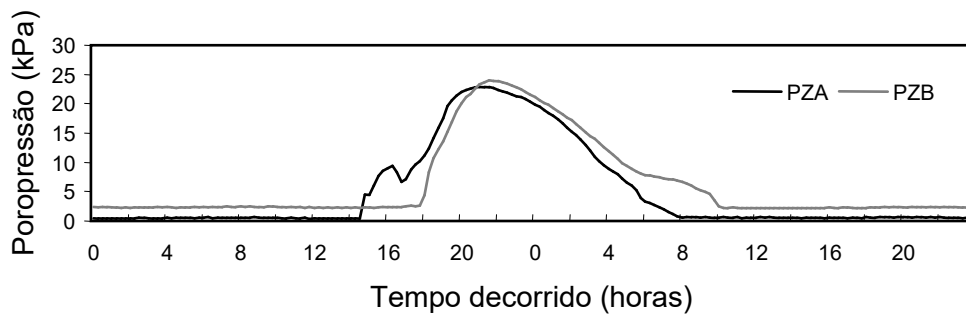


Figura 6.35 - Poropressões versus tempo, Estação 2, topo da Encosta do Itanhangá

**Monitoramento automático para um pequeno número de instrumentos**

O monitoramento automático pode ser empregada mesmo em projetos com um pequeno número de instrumentos. A Figura 6.36 apresenta um sistema de aquisição de dados de um canal somente que registra as leituras no próprio local na memória do instrumento. Os dados são descarregados periodicamente, uma vez por semana ou por mês, em um PC via serial. Este tipo

de instrumento pode ser aplicado para medir níveis d'água, por exemplo, ou observar a variação de carga em uma ancoragem.



**Figura 6.36 - Sistema de aquisição de dados de um canal**

## 7. Referências

---

- ABGE (1975) Ensaios de perda d'água sob pressão, Diretrizes, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Boletim no. 2, São Paulo, 16 p.
- ABGE (1980) Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia 62 p.
- ABGE (1990a) Diretrizes para a execução de sondagens, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Boletim Especial, 3ª edição, São Paulo,
- ABGE (1996) Ensaios de permeabilidade em solos, Boletim 4, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 33 p.
- ABGE (1998) Geologia de Engenharia, Editores: Oliveira A M S e Brito S, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 586 p.
- ABGE (1998) Geologia de Engenharia, Editores: Oliveira A M S e Brito S, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 586 p.
- Amaral, C.P. & D'Orsi, R.N. (1992). "Caracterização Geológico-Geotécnica voltada à estabilidade de encostas". 1ª COBRAE, Anais, vol. III, Rio de Janeiro.
- Amaral, C.P. & Palmeiro, F. (1997). "Local Landslide Inventory of Rio de Janeiro: State of the Art and Access". 2<sup>nd</sup> Pan-Am. Symp. Landslides, 2<sup>nd</sup> COBRAE, Rio de Janeiro.
- Amaral, C.P. & Porto Jr., R. (1989). "Condicionantes Geológicas na Instabilidade de Taludes: O Exemplo da Estrada do Soberbo, Alto da Tijuca, Rio de Janeiro". Simpósio de Geologia do Sudeste, 1, Rio de Janeiro. Boletim de Resumos, SBG/RJ.
- Amaral, C.P. (1996). "Escorregamentos em Encostas no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes Geológicos e Programa para Reprodução dos Acidentes Associados". Tese de Doutorado, DEC/PUC-RJ.
- Antunes, F.S. & Barroso, J.A. (1998). "Tema 4, A importância da utilização das informações geológico-geotécnicas no planejamento da ocupação territorial". In: Ciclo de Mesas Redondas, Grande Rio: Impropriedades no Uso do Solo, Clube de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Augusto Filho, O. & Virgili, J.C. (1998). "Estabilidade de Taludes". In: Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Augusto Filho, O. (1995). "Escorregamentos em encostas naturais ocupadas: análise e controle". In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, Série Meio Ambiente, ABGE/IPT.
- Barros W, Bogossian F e Lopes P C C (1994) Structural geology characterisation determines low cost solution for slope stabilisation, 13<sup>th</sup> ICSMFE, New Delhi, pp 373-375

- Barroso, E.V. (1993). “Estudo das Características Geológicas e do Comportamento Geotécnico de um Perfil de Intemperismo em Leptinito”. Dissertação de Mestrado, Dept<sup>o</sup> de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Barroso, E.V.; Marques, E.A.G.; Cezar, G.S. & Vargas Jr., E.A. (1996). “Caracterização Física dos Gnaisses Intemperizados do Município do Rio de Janeiro”. 8<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro. Anais, ABGE, vol. 1.
- Barton, N.; Lien, R. & Lunde, J. (1974). “Engineering Classification of Rocks Masses of Design of Tunnel Support”. *Rock Mech.*, 6.
- Barton, N.R. 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engng Geol.* 7, 287-332.
- Barton, N.R. 1974. *A review of the shear strength of filled discontinuities in rock*. Norwegian Geotech. Inst. Publ. No. 105. Oslo: Norwegian Geotech. Inst.
- Barton, N.R. 1976. The shear strength of rock and rock joints. *Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 13(10), 1-24.
- Barton, N.R. 1987. Predicting the behaviour of underground openings in rock. Manuel Rocha Memorial Lecture, Lisbon. Oslo: Norwegian Geotech. Inst.
- Barton, N.R. and Bandis, S.C. 1982. Effects of block size on the the shear behaviour of jointed rock. *23rd U.S. symp. on rock mechanics*, Berkeley, 739-760.
- Barton, N.R. and Bandis, S.C. 1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. In *Rock joints, proc. int. symp. on rock joints*, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson), 603-610. Rotterdam: Balkema.
- Barton, N.R. and Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mech.* 10(1-2), 1-54.
- Bieniawski, Z.T. (1989). “Engineering Rock Mass Classification”. John Wiley.
- Brandão da Silva, L.J.R.O. (1995). “A Resistência ao Cisalhamento de Juntas de Alívio em Leptinito do Município do Rio de Janeiro”. Dissertação de Mestrado, Dept<sup>o</sup> de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Campanella R G, Jackson S, Ortigao J A R & Crawford C B (1994) Design and installation of a new settlement-inclinometer device, Proc. Conf. *Settlement 94, Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments*, Texas A & M University, College Station, ASCE Geotechnical Special Publication no. 40, vol 1, pp 911-922
- Campos, TMP (1974) - Resistencia ao Cisalhamento de Solos Residuais Micaceos. Tese MSc, PUC-Rio.
- Cerri, L.E.S. (1992). “Identificação, Análise e Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos”. 1<sup>a</sup> Conf. Bras. sobre Estabilidade de Encostas, 1<sup>a</sup> COBRAE, Rio de Janeiro.
- Cerri, L.E.S. (1993). “Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: Uma Proposta para Prevenção de Acidentes”. Tese de Doutorado, IGCE-UNESP, Rio Claro.
- CGS (1985) Canadian Foundation Engineering Manual, *Canadian Geotechnical Society, Ottawa*, 2<sup>nd</sup> Edition, 456p.
- Clayton C R I, Simons N E and Mathews M C (1982) Site investigation: a handbook for engineers, Granada, London, 424 p.
- Costa Nunes, A.J. (1969). “Landslides in Soils of Decomposed rock due intense rainstorms”. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 7, México. Anais, Sociedad Mexicana de Mecânica de Suelos, vol. 2, 5<sup>a</sup> sessão.
- Costa Nunes, A.J.; Couto Fonseca, A.M. & Hunt, R.E. (1979). “Landslides in Brazil, Rockslides and Avalanches”. Eng. Sites, B, vol. II, Voight Ed., ch. 11.
- Costa Nunes, A.J.; Fernandes, C.E.M.; Iliesco, M.; Cid, M.R.V.K.; Alves, R.I.V. & Brandão da Silva, L.J.R.O. (1990). “Contribuição ao conhecimento do risco geológico da cidade de Petrópolis, RJ”. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, Anais, ABGE, São Paulo.
- Costa, N.M.C. (1986). “Geomorfologia Estrutural dos Maciços Litorâneos do Rio de Janeiro”. Dissertação de Mestrado, Dept<sup>o</sup> de Geografia, IGEO/UFRJ.
- d’Orsi R, D’Avila C, Ortigao J A R, Dias A, Moraes L, Santos M D (1997) *Rio-Watch: The Rio de Janeiro landslide watch system*, Proc. 2<sup>nd</sup> PSL Pan-Am Symp. on Landslides, Rio de Janeiro, vol 1, pp 21-30

- d'Ávila C J, Ortigão J A R, Silva S P, Moraes L P, Albuquerque M S, Santos M D A, e d'Orsi R N (1992) *Sigra: Sistema de instrumentação geotécnica via rádio, Cobrae Conferência Brasileira de Encostas*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 347-356.
- Deere, D.U. and Miller, R.P. 1966. *Engineering classification and index properties of rock*. Technical Report No. AFNL-TR-65-116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory.
- Deere, D.V. & Patton, F.D. (1971). "Slope stability in residual soils. State of the art paper". In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 4<sup>o</sup>, vol. 1, Costa Rica.
- Deere, D.V. (1963). "Technical description of rock cores for engineering purposes". *Rock Mech. Eng. Geol.*, 1.
- Dunnicliff, J (1988) *Geotechnical instruments for monitoring field performance*, Wiley, New York, 577 p.
- Fernandes, C.P. & Amaral, C.P. (1996). "Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica". In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*, cap. 3, Ed. Bertrand Brasil.
- Fernandes, N.F. & Amaral, C.P. (1996). "Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica". In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*, Ed. Bertrand Brasil.
- FHWA (1991) *Rock slopes, Manual*, USDOT Federal Highway Administration
- Frasca, M.H.B & Sartori, P.L.P. (1998). "Minerais e Rochas". *Geologia de Engenharia*, ABGE, São Paulo.
- GEO (1993) *Guide to Site Investigation*, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, *Geoguide 2*, 367 p.
- Giani J P (1992) *Rock slope stability analysis*, Balkema, Rotterdam, 361 p.
- Goodman, R.E. (1989). "Rock Mechanics". 2<sup>a</sup> ed., Wiley.
- Gray, D.H. & Leiser, A.J. (1982). "Role of vegetation in stability and protection of slopes". In: *Biotechnical Slope Protectional and Erosion Control*. Van Nortrand Reinhold, New York.
- Gray, D.H. (1970). "Effects on forest clear cutting on the stability of natural slopes". Reprinted from *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*.
- Guidicini, G. & Nieble, C. (1984). "Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação". 2<sup>a</sup> ed., Edgard Blücher.
- Guidicini, G. & Nieble, C. (1984). "Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação". Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo.
- Hanna T H (1985) *Field instrumentation in geotechnical engineering*, *Trans Tech Publications*, Claustal-Zellerfeld, Alemanha
- Heilbron, M.L.; Pires, F.R.M.; Valeriano, C.M. & Bessa, M.P. (1993). "Litoestratigrafia, Evolução Tectono-Metamórfica e Magmatismo no Pré-Cambriano do Sudeste do Município do Rio de Janeiro". *Simpósio de Geologia do Sudeste*, Atas, 3, Rio de Janeiro. Atas, SBG/UERJ.
- Helmbold, R.; Valença, J.G. & Leonardos Jr., O.H. (1965). "Mapa Geológico do Estado da Guanabara, Escala 1:50.000". DGM/DNPM, Rio de Janeiro.
- Hoek E (1998) *Rock Engineering – The application of modern techniques to underground design*, Course Notes by E Hoek, Brazilian Rock Mechanics Committee, Brazilian Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, São Paulo, Brazil, 268 p.
- Hoek E, Kaiser P K and Bawden W F (1995) *Support of underground excavations in hard rock*, Balkema, Rotterdam, 232 p.
- Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd edn. London: Institution of Mining and Metallurgy 402 pages
- Hutchinson, J.N. (1968). "Mass Movement". In: *Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. Fairbridge Reinhold Book Co., New York.
- I.S.R.M. (1979) Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, *International Society on Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests*, *International Journal of Rock Mechanics and Mineral Sciences*, vol. 16, p. 135-140.
- Infanti, Jr. N. & Fornasari Filho, N. (1998). "Processos de Dinâmica Superficial". In: *Geologia de Engenharia*, ABGE, São Paulo.

- International Society for Rock Mechanics Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests. 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* **15**, 319-368.
- IPT (1984). “Estudos geológico-geotécnicos para caracterização e classificação de maciços rochosos para projetos de engenharia (túneis, lavra a céu aberto e barragens). São Paulo (IPT - Relatório, 19569).
- Kanji M A (1970) Shear strength of soil rock interfaces, MSc thesis, U of Illinois, 69 p.
- Kanji M A (1974) The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soils, *Géotechnique*, 24:4, p 671-674
- Kanji M A (1998) Determinação de  $\phi_{res}$  de solos argilosos por ensaios de cisalhamento direto de interface lisa, XI Cobramseg, Brasília, pp 713-719
- Kay J N & Chen T (1995) Rainfall-landslide relationship for Hong Kong, *Proc ICE, Geotechnical Engineering*, vol 113, Apr., pp 117-118
- Kertzman, F.F. & Dinis, N.C. (1995). “As abordagens de solos utilizadas na Geologia Aplicada ao Meio Ambiente”. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPT, São Paulo.
- Le Maitre, R.W. (1989). “A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms”. Oxford, Blackwell Scientific.
- Lima, E.M.R. (1994). “Caracterização Química e Mineralógica de Perfis de Alteração em Biotita Gnaiss no Município do Rio de Janeiro”. Dissertação de Mestrado, Dept<sup>o</sup> de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Lima, M J C P (1976) Prospecção geotécnica do subsolo, LTC Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro
- Loczy, L. & Ladeira, E.A. (1976). “Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica”. Ed. Edgard Blücher, Rio de Janeiro.
- Lupini J F, Skinner A E & Vaughan P (1981) The drained residual strength of cohesive soils, *Géotechnique*, 31:2, p. 181-213
- Macarini, M (1980) - Ensaios Triaxiais e de Cisalhamento Direto em Solo Residual Gnaissico Jovem do Campo Experimental I da PUC-Rio. Tese MSc, PUC-Rio.
- Malone, A. W. (1988) The role of government in landslide disaster prevention in Hong Kong and Indonesia, *SEAGS Geotechnical Engineering*, 19(2): 227-252.
- Marinho, FAM (1986) - Características de Deformabilidade de Solo Residual do Campo Experimental II da PUC-Rio. Tese MSc, PUC-Rio.
- Marques, E.A.G. (1998). “Caracterização Geomecânica de um Perfil de Intemperismo em Kingizito”. Tese de Doutorado, Dept<sup>o</sup> de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Menezes Filho, A.P. (1993). “Aspectos geológico-geotécnicos de um perfil de alteração de gnaiss facoidal, Rio de Janeiro”. Dissertação de Mestrado, DEC/PUC-RJ.
- Nakasawa, V.A. & Cerri, L.E.S. (1990). “Os escorregamentos ocorridos em Petrópolis, RJ, em fevereiro de 1988: Ações Emergenciais”. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, Anais, ABGE, São Paulo.
- Norrish N & Wyllie D (1996) Rock slope stability analysis, Chapter 15, *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, pp 391-425
- Ortigão J A R (1997) Ensaios de arrancamento para projetos de solo grampeado, *Nota Técnica, Solos & Rochas*, vol 20:1, pp 39-43
- Ortigão J A R, d'Ávila C J R e d'Orsi R N (1994) Remote instrumentation of slopes in Rio de Janeiro during rainstorms, *Proc. 7<sup>th</sup> Int Symp of Engineering Geology*, Ed.: Oliveira et al., Balkema, vol 1, pp 1067-1073, Lisbon
- Ortigão J A R, d'Orsi R, Alves L (1998) Alarme de riscos deslizamentos de encostas, Simpósio ABGE de Obras Rodoviárias, *Rodo 98*, São Paulo, pp 161-169
- Ortigão J A R, d'Orsi R, Brito H, D'Ávila C, Szendrodi C, Lobo A (1997) Remote instrumentation of the Itanhanga Hill, *Proc. 2<sup>nd</sup> PSL Pan-Am Symp. on Landslides*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 121-128
- Ortigão J A R (1975) Piezômetros hidráulicos fabricados no IPR, Anais do *Simp. de Instrumentação de Campo em Mecânica dos Solos e Fundações*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, pp. 147-178, também publicado como Relatório de Pesquisa nº 2.019-02.02-2/02/42, IPR Instituto de Pesquisas Rodoviárias

- Ortigão J A R (1988) Instrumentação de aterros sobre solos moles : uma revisão de instrumentos e técnicas, Sidequa - Simp sobre Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras: Características Geotécnicas e Experiência de Obras, Rio de Janeiro, pp 4.73 a 4.109
- Ortigão J A R (1995) Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos, *livro-texto* LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, Rio de Janeiro, 2ª edição, 368 p.
- Ortigão J A R, Campanella R G, Crawford C B and Jackson S (1993) The UBC Mini-inclinometer and settlement system, *Solos e Rochas* vol 16 no. 2, Agosto, pp 115-121.
- Ortigão J A R, Lacerda W A & Werneck M L G (1983) The behaviour of the instrumentation of an embankment on clay, *Proc. Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics*, Zürich, Balkema, vol. 1, pp. 703 - 707.
- Ortigão, J.A.R, D'Orsi, R., Brito, H., Szendrodi, C., Lobo, A. (1997). "Remote Instrumentation of The Itanhangá Hill". *Proc. 2<sup>nd</sup> PSL Pan. Am. Symp. On Landslides*, Rio de Janeiro, Vol.1.
- Pastore, E.L. & Fontes, R.M. (1998). "Caracterização e Classificação de Solos". Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Pastore, E.L. (1995). "Weathering profiles". In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7, Proceedings..., vol. 1, Guadalajara, ISSMFE.
- Patton, F.D. 1966. Multiple modes of shear failure in rock. *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech.*, Lisbon 1, 509-513.
- Penha, H.M. (1988). "Degradação das Áreas Florestadas e suas Consequências". In: Ciclo de Mesas Redondas, Grande Rio: Impropriedades no Uso do Solo, Clube de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Penha, H.M. (1990). "Controle Geológico dos Escorregamentos de Petrópolis, 1988". Relatório interno, Tecnosolo S.A.
- Penta, F. (1963). "Frane in movimenti franosi". 3ª ed., Ed. Siderea, Roma.
- Pimentel, J. (1995). "Condicionantes do desenvolvimento dos perfis de intemperismo em leptinitos e aspectos morfológicos da Serra da Carioca, RJ". Dissertação de Mestrado, Deptª de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Piteau, D.R. (1970). "Geological factors significant to the stability of slopes cut in rocks". In: Symposium on the Theoretical Background to the Planning of Open Pit Mines With Special Reference to Slope Stability. Proceedings..., sec. 3, Joanesburgo.
- Prandini, F.L.; Guidicini, G.; Bottura, J.A.; Ponçano, W.L. & Santos, A.R. (1976). "Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica". Publicação IPT nº 1035.
- Premchitt J (1988) Salient aspects of landslides in Hong Kong, Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., 9(2): 497-502.
- Salomão, F.X.T. & Antunes, F.S. (1998). "Solos". Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Serra Jr., E. & Ojima, L.M. (1998). "Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos". Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Sobreira, G.V.A. (1993). "Intemperismo Químico do Leptinito no Mirante Dona Marta, Serra da Carioca, RJ". Dissertação de Mestrado, Deptª de Geologia, IGEO/UFRJ.
- Souza, N.C.D.C. (1992). "Mapeamento Geotécnico da Folha de Aguai com base na compartimentação por formas de relevo e perfis tropicais de alteração. Uma contribuição ao planejamento regional". Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Streckeisen, A.L. (1976). "To each plutonic rock its proper name". *Earth-Science Reviews*, 12.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S. & Rocha, M.C.M. (1987). "Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão". In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, Anais, vol. 2, ABGE, São Paulo.
- Turner, A.K. & Schuster, R.L. (1996). "Landslides: Investigation and Mitigation". Ottawa: National Research Council Canada (NRCC-TRB-Sr, 247).
- Vargas, M. (1985). "The concept of tropical soils". In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1, Proceedings..., vol. 3, ABMS.



- Varnes, D.J. (1958). "Landslides types and processes". In: Landslides and Engineering Practice. National Academy of Sciences, Washington.
- Varnes, D.J. (1978). "Slope movement types and processes". In: Landslides Analysis and Control. National Academy of Sciences, Washington.
- Weltman A J & Head J M (1983) Site investigation manual, CIRIA Special Publication 25, Londres, 144 p.
- Working Party For World Landslide Inventory (1993). Unesco, the International Geotechnical Societies and the Canadian Geotechnical Society. Published by Bitech Publishers Ltda., Canada
- Wyllie D & Norrish N (1996a) Rock strength properties and their measurements, chapter 14, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, pp 372 – 425
- Wyllie D & Norrish N (1996b) Stabilisation of rock slopes, chapter 18, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, pp 474-504

## **8. Anexo II – Manuais GeoRio**

---

Publicações do Geotechnical Engineering Office (GEO) de Hong Kong

1. GEO (1984) Geotechnical Manual for slopes, 2<sup>nd</sup> edition, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 295 p.
2. GEO (1982) Guide to retaining wall design, Geoguide 1, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 154 p.
3. GEO (1987) Guide to site investigation, Geoguide 2, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 362 p.
4. GEO (1989) Model specification for prestressed ground anchors, Geospec 1, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 168 p.

## 9. Anexo III – Normas ABNT

---

### **Cimento, concreto e argamassa**

ABNT NBR 5732 Cimento Portland comum - Especificação

ABNT NBR 7480 Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação

ABNT NBR 7681 Calda de cimento para injeção – Especificação

ABNT NBR 6118 Projeto e construção de obras de concreto armado

### **Agregados**

ABNT NBR 7220 Agregado – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo

ABNT NBR 9773 Agregado – Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado.

ABNT NBR 9935 Agregados

ABNT NBR 6465 Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles “

ABNT NBR 7217 Agregados – Determinação da composição granulométrica

ABNT NBR 10341 Agregados – Determinação do módulo de deformação estático e coeficiente de poisson de rochas

ABNT NBR 9939 Agregados – Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo

ABNT NBR 12696 Agregados – Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa

ABNT NBR 12695 Agregados – Verificação do comportamento mediante ciclagem natural

ABNT NBR 7216 Amostragem de agregados

ABNT NBR 7389	Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto
ABNT NBR 7225	Materiais de pedra e agregados naturais Água
ABNT NBR 5761	Água – Determinação da dureza – Método complexométrico
ABNT NBR 9251	Água – Determinação do pH – Método eletrométrico
ABNT NBR 12614	Águas – Determinação da demanda bioquímica de oxigênio DBO – método de incubação 20 graus Celsius, cinco dias
ABNT NBR 10357	Águas – Determinação da demanda química de oxigênio DQO – Método de refluxo aberto, refluxo fechado – Titulométrico e refluxo fechado - Colorimétrico
ABNT NBR 12244	Construção de poço para captação de água subterrânea
ABNT NBR 5762	Determinação da alcalinidade em água – Método por titulação direta
ABNT NBR 9896	Glossário de poluição das águas
ABNT NBR 12212	Projeto de poço para captação de água subterrânea
Aterros	
ABNT NBR 10007	Amostragem de resíduos - Procedimentos
ABNT NBR 8849	Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos
ABNT NBR 8418	Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos
ABNT NBR 8419	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
ABNT NBR 9288	Emprego de terrenos reforçados
ABNT NBR 9285	Micro-ancoragem
ABNT NBR 10004	Resíduos sólidos
ABNT NBR 9286	Terra armada
ABNT NBR 7950	Terraplenagem para via férrea – Aterro – Projeto
Efluentes	
ABNT NBR 13402	Caracterização de cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos
ABNT NBR 13403	Mediação de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento líquido
Fundações	
ABNT NBR 6122	Projeto e execução de fundações
ABNT NBR 6489	Prova de carga direta sobre terreno de fundação
ABNT NBR 12131	Estacas - Prova de carga estática
ABNT NBR 13208	Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico
Gestão ambiental	

ABNT NBR ISO 14004      Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio

ABNT NBR ISO 14011      Diretrizes para auditoria ambiental – Procedimentos de auditoria – Auditoria de sistemas de gestão ambiental

### **Levantamentos e projetos**

ABNT NBR 6497      Levantamento geotécnico

ABNT NBR 8044      Projeto geotécnico

#### Mineração

ABNT NBR 13029      Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração

ABNT NBR 13028      Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração

ABNT NBR 13030      Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração

### **Rochas e Solos**

ABNT NBR 7390      Análise petrográfica de rochas

ABNT NBR 10803      Degradação do solo

ABNT NBR 6502      Rochas e solos

ABNT NBR 7181      Solo – Análise granulométrica

ABNT NBR 13292      Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante

ABNT NBR 12007      Solo – Ensaio de adensamento unidimensional

ABNT NBR 7182      Solo – Ensaio de compactação

ABNT NBR 12069      Solo – Ensaio de penetração de cone in situ CPT

ABNT NBR 10905      Solo – Ensaio de palheta in situ

ABNT NBR 6459      Solo – Determinação do Limite de Liquidez

ABNT NBR 7180      Solo – Determinação do Limite de Plasticidade

ABNT NBR 6508      Solo – Determinação da Densidade Real dos Grãos

ABNT NBR 9895      Solo – Índice de suporte Califórnia

### **Sondagens e amostragem**

ABNT NBR 9604      Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas

ABNT NBR 6457      Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

ABNT NBR 9820      Coleta de amostras indeformadas em solo em furos de sondagem

ABNT TB-38      Equipamento a diamante para sondagem

ABNT NBR 6484	Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos
ABNT NBR 7250	Identificação e descrição de amostras de solos obtidos em sondagens de simples reconhecimento dos solos
ABNT NBR 8036	Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios
ABNT NBR 6490	Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrência de rochas
ABNT NBR 6491	Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia
ABNT NBR 9603	Sondagem a trado

### **Taludes e escavações**

ABNT NBR 9061	Segurança de escavações a céu aberto
ABNT NBR 11682	Estabilidade de taludes
ABNT NBR 12589	Proteção de taludes e fixação de margens em obras portuárias

### **Tirantes**

ABNT NBR 5629	Execução de tirantes ancorados no terreno
Gabiões	
ABNT NBR 8964	Arame de aço de baixo teor de carbono, zincado, para gabiões
ABNT NBR 10514	Redes de aço com malha hexagonal de dupla torção, para confecção de gabiões
Desenho	
ABNT NBR 08403	Aplicação de linhas em desenhos - Tipos de linhas - Larguras das linhas
ABNT NBR 10582	Apresentação da folha para desenho técnico
ABNT NBR 10647	Desenho técnico
ABNT NBR 13142	Dobramento de cópia de desenho técnico
ABNT NBR 13272	Elaboração da lista de itens em desenho técnico
ABNT NBR 08196	Emprego de escalas em desenho técnico
ABNT NBR 08402	Execução de caracter para escrita em desenho técnico
ABNT NBR 07191	Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado
ABNT NBR 10068	Folha de desenho – Lay-out e dimensões
ABNT NBR 08404	Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos
ABNT NBR 10067	Princípios gerais de representação em desenho técnico
ABNT NBR 13273	Referência a itens em desenho técnico
ABNT NBR 08993	Representação convencional de partes roscadas em desenhos técnicos
ABNT NBR 13963	Móveis para escritório - Móveis para desenho - Classificação e características físicas e dimensionais

- ABNT NBR 11534 Representação de engrenagem em desenho técnico  
ABNT NBR 13104 Representação de entalhado em desenho técnico  
ABNT NBR 11145 Representação de molas em desenho técnico  
ABNT NBR 12298 Representação de área de corte por meio de hachuras em desenho técnico  
ABNT NBR 06409 Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho  
ABNT NBR 10126 Cotagem em desenho técnico

### **Relatório**

- ABNT NBR 10719 Apresentação de relatórios técnico-científicos  
ABNT NBR 11192 Exigências na apresentação de relatório de ensaio  
ABNT NBR 07679 Termos básicos relativos a cor

### **Projeto**

- ABNT NBR 13896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento  
ABNT NBR 07190 Projeto de estruturas de madeira  
ABNT NBR 06122 Projeto e execução de fundações  
ABNT NBR 06118 Projeto e execução de obras de concreto armado  
ABNT NBR 07187 Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido  
ABNT NBR 08044 Projeto geotécnico  
ISO09001 Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projetos, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados  
ABNT NBR 07808 Símbolos gráficos para projetos de estruturas

### **Drenagem**

- ABNT NBR 08216 Irrigação e drenagem  
ABNT NBR 12266 Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana

### **Ensaio de cone**

- ABNT NBR 12069 Solo - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT)

### **Concreto**

- ABNT NBR 7223 Concreto – determinação do Abatimento pelo Tronco de Cone  
ABNT NBR 10908 Aditivos para argamassa e concretos - Ensaio de uniformidade  
ABNT NBR NM00034 Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de uniformidade  
ABNT NBR 11768 Aditivos para concreto de cimento Portland

ABNT NBR NM00035	Agregados leves para concreto estrutural - Especificação
ABNT NBR 07211	Agregado para concreto
ABNT NBR EB00228	Agregados leves para concreto de elementos para alvenaria
ABNT NBR 07213	Agregados leves para concreto isolante térmico
ABNT NBR EB00230	Agregados leves para concreto estrutural
ABNT NBR 09917 solúveis	Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos
ABNT NBR NM00050 solúveis	Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos
ABNT NBR NM00054	Agregados para concreto - Exame petrográfico
ABNT NBR 11560	Água destinada ao amassamento do concreto para estruturas classe I, em centrais nucleoeletricas - Qualidade e controle
ABNT NBR 07389 agregado em concreto	Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como
ABNT NBR 07222	Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos
ABNT NBR 09778	Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica
ABNT NBR 09779 de água por capilaridade	Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção
ABNT NBR 08965	Barras de aço CA 42 S com características de soldabilidade destinadas a armaduras para concreto armado
ABNT NBR 08548	Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração
ABNT NBR 07480	Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado
ABNT NBR NM00002	Cimentos, concretos e agregados - Terminologia - Lista de termos
ABNT NBR NM00033	Concreto - Amostragem de concreto fresco
ABNT NBR NM00033	Concreto - Amostragem de concreto fresco
ABNT NBR NM00067 tronco de cone	Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do
ABNT NBR NM00068 mesa de Graff	Concreto - Determinação da consistência pelo espalhamento na
ABNT NBR NM00102	Concreto - Determinação da exsudação
ABNT NBR 08045	Concreto - Determinação da resistência acelerada à compressão - Método da água em ebulição
ABNT NBR 12142 corpos-de-prova prismáticos	Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em
ABNT NBR NM00008	Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral



ABNT NBR NM00055	Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos
ABNT NBR 08522	Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama - Tensão-deformação
ABNT NBR NM00047	Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico
ABNT NBR NM00047	Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico
ABNT NBR 5739	Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
ABNT NBR NM00101	Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos
ABNT NBR NM00069	Concreto - Extração, preparação e ensaio de testemunhos de estruturas de concreto
ABNT NBR 10342	Concreto - Perda de abatimento
ABNT NBR NM00077	Concreto - Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaios de compressão
ABNT NBR NM00079	Concreto - Preparação de concreto em laboratório
ABNT NBR 12655	Concreto - Preparo, controle e recebimento
ABNT NBR 09605	Concreto - Reconstituição do traço de concreto fresco
ABNT NBR 09832	Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio da resistência à penetração
ABNT NBR 12819	Concreto e argamassa - Determinação da elevação adiabática da temperatura
ABNT NBR NM00009	Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração
ABNT NBR 07584	Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão
ABNT NBR NM00078	Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão
ABNT NBR 08224	Concreto endurecido - Determinação da fluência
ABNT NBR 08802 de onda ultra-sônica	Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação
ABNT NBR 09204 volumétrica	Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrica-
ABNT NBR 10787 pressão	Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob
ABNT NBR 10786 permeabilidade à água	Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de
ABNT NBR 12815 térmica linear	Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de dilatação

ABNT NBR 12816	Concreto endurecido - Determinação da capacidade de deformação de concreto submetido à tração na flexão
ABNT NBR 12817	Concreto endurecido - Determinação do calor específico
ABNT NBR 12820	Concreto endurecido - Determinação da condutividade térmica
ABNT NBR NM00057	Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão
ABNT NBR NM00058	Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica
ABNT NBR 09833	Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico
ABNT NBR NM00056	Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar, pelo método gravimétrico
ABNT NBR NM00036	Concreto fresco - Separação de agregados grandes por peneiramento
ABNT NBR NM00036	Concreto fresco - Separação de agregados grandes por peneiramento
ABNT NBR 08953	Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência
ABNT NBR 14279	Concreto projetado - Aplicação por via seca - Procedimento
ABNT NBR 13069	Concreto projetado - Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega
ABNT NBR 13317	Concreto projetado - Determinação do índice de reflexão por medição direta
ABNT NBR 13354	Concreto projetado - Determinação do índice de reflexão em placas
ABNT NBR 14278	Concreto projetado - Determinação da consistência através da agulha de Proctor
ABNT NBR 14026	Concreto projetado - Especificação
ABNT NBR 13044	Concreto projetado - Reconstituição da mistura recém-projetada
ABNT NBR 12654	Controle tecnológico de materiais componentes do concreto
ABNT NBR 07483	Cordoalhas de aço para concreto protendido
ABNT NBR 09479	Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto
ABNT NBR 07477	Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado
ABNT NBR 14268	Elemento de fixação - Parafusos auto-atarraxantes para concreto e alvenaria - Especificação
ABNT NBR 14269	Elementos de fixação - Pregos de aço temperado para fixação em concreto e alvenaria - Especificação

ABNT NBR 10788	Execução da injeção em concreto protendido com aderência posterior
ABNT NBR 10789	Execução da protensão em concreto protendido com aderência posterior
ABNT NBR 07212	Execução de concreto dosado em central
ABNT NBR 07191	Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado
ABNT NBR 10839	Execução de obras de arte especiais em concreto armado e concreto protendido
ABNT NBR 12645	Execução de paredes em concreto celular espumoso moldadas no local
ABNT NBR 07680	Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto
ABNT NBR 07482	Fios de aço para concreto protendido
ABNT NBR 05916	Junta de tela de aço soldada para armadura de concreto - Ensaio de resistência ao cisalhamento
ABNT NBR 13070	Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados
ABNT NBR 05738	Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto
ABNT NBR 07478	Método de ensaio de fadiga de barras de aço para concreto armado
ABNT NBR 12624	Perfil de elastômero vulcanizado, extrudado para vedação de junta de dilatação de estruturas de concreto ou aço
ABNT NBR NM00007	Perfil extrudado à base de cloreto de polivinila (PVC) para juntas de estruturas de concreto - Especificação
ABNT NBR NM00007	Perfil extrudado à base de cloreto de polivinila (PVC) para juntas de estruturas de concreto - Especificação
ABNT NBR NM00006	Perfil extrudado à base de elastômeros para juntas de estruturas de concreto - Determinação de características físicas, extração acelerada e efeito de álcalis
ABNT NBR NM00006	Perfil extrudado à base de elastômeros para juntas de estruturas de concreto - Determinação de características físicas, extração acelerada e efeito de álcalis
ABNT NBR 12821	Preparação de concreto em laboratório
ABNT NBR 13597	Procedimento para qualificação de mangoteiro de concreto projetado aplicado por via seca
ABNT NBR 07197	Projeto de estruturas de concreto protendido
ABNT NBR 09062	Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado
ABNT NBR 06118	Projeto e execução de obras de concreto armado
ABNT NBR 07187	Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido
ABNT NBR 09607	Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido
ABNT NBR 13956	Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Especificação

ABNT NBR 13957 Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Métodos de ensaio

ABNT NBR 07481 Tela de aço soldada - Armadura para concreto

ABNT NBR 12317 Verificação de desempenho de aditivos para concreto

ABNT NBR 11919 Verificação de emendas metálicas de barras de concreto armado

ABNT NBR 09452 Vistorias de pontes e viadutos de concreto

#### Aterros

ABNT NBR 08418 Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos

ABNT NBR 08419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

ABNT NBR 08849 Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos

ABNT NBR 13896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento

ABNT NBR 10157 Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação

ABNT NBR 05681 Controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações

#### Apresentação

ABNT NBR 10582 Apresentação da folha para desenho técnico

ABNT NBR 06022 Apresentação de artigos em publicações periódicas

ABNT NBR 10520 Apresentação de citações em documentos

ABNT NBR 06029 Apresentação de livros

ABNT NBR 06030 Apresentação de ofício ou carta formato A-4

ABNT NBR 12256 Apresentação de originais

ABNT NBR 06021 Apresentação de periódicos

ABNT NBR 08418 Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos

ABNT NBR 08419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

ABNT NBR 08849 Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos

ABNT NBR 13031 Apresentação de publicações oficiais

ABNT NBR 10719 Apresentação de relatórios técnico-científicos

ABNT NBR NM00001 Diretivas para redação e apresentação de normas Mercosul

ABNT NBR 11192 Exigências na apresentação de relatório de ensaio

ABNT NBR 12286 Roteiro para elaboração e apresentação do Código de Obras

#### ANCORAGEM

ABNT NBR 08264 Adequação da limpeza de superfície e do perfil de ancoragem, de aço, aos sistemas de revestimentos protetores

ABNT NBR 09285 Micro-ancoragem

ABNT NBR 11230 Revestimentos têxteis de piso - Determinação da força de arrancamento dos tufos - Ancoragem

## SOLOS

ABNT NBR 09604 Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas

ABNT NBR 06457 Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

ABNT NBR 10834 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural

ABNT NBR 10836 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água

ABNT NBR 10835 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Forma e dimensões

ABNT NBR 13537 Carga aérea e equipamento de apoio no solo para aeronave

ABNT NBR 09820 Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem

ABNT NBR 07450 Corretivos da acidez dos solos - Determinação do valor total de neutralização

ABNT NBR 07984 Corretivos da acidez dos solos - Determinação de cálcio e magnésio pelo método Edta

ABNT NBR 10703 Degradação do solo

ABNT NBR 07183 Determinação do limite e relação de contração dos solos

ABNT NBR 10578 Ensaios básicos climáticos e mecânicos - Ensaio Sa - Irradiação solar artificial ao nível do solo

ABNT NBR 13296 Espaço físico para o uso do solo urbano

ABNT NBR 06484 Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos

ABNT NBR 12254 Execução de sub-base ou base de solo-cimento

ABNT NBR 06508 Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica

ABNT NBR 07250 Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos

ABNT NBR 11798 Materiais para sub-base ou base de solo-cimento

ABNT NBR 11805 Materiais para sub-base ou base de solo-brita

ABNT NBR 07117 Medição da resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (wenner)

ABNT NBR 07582 Pedra britada graduada e solo para base tipo macadame

ABNT NBR 08036 Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios

ABNT NBR 14283 Resíduos em solos - Determinação da biodegradação pelo método respirométrico

ABNT NBR 06502 Rochas e solos

ABNT NBR 13441 Rochas e solos

ABNT NBR 07181	Solo - Análise granulométrica
ABNT NBR 12102	Solo - Controle de compactação pelo método de Hilf
ABNT NBR 07185	Solo - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia.
ABNT NBR 09813	Solo - Determinação da massa específica aparente In Situ, com emprego de cilindro de cravação
ABNT NBR 10838	Solo - Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego da balança hidrostática
ABNT NBR 13292	Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante
ABNT NBR 09252	Solo - Determinação do grau de acidez
ABNT NBR 06459	Solo - Determinação do limite de liquidez
ABNT NBR 07180	Solo - Determinação do limite de plasticidade
ABNT NBR 13600	Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 graus Celsius
ABNT NBR 12004	Solo - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos
ABNT NBR 12051	Solo - Determinação do índice de vazios mínimos de solos não-coesivos
ABNT NBR 07182	Solo - Ensaio de compactação
ABNT NBR 12069	Solo - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT)
ABNT NBR 10905	Solo - Ensaios de palheta in situ
ABNT NBR 09895	Solo - Índice de suporte califórnia
ABNT NBR 14114	Solo - Solos argilosos dispersivos - Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test)
ABNT NBR 12770	Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada
ABNT NBR 12052	Solo ou agregado miúdo - Determinação de equivalente de areia
ABNT NBR 12053	Solo-brita - Determinação de dosagem
ABNT NBR 13555	Solo-cimento - Determinação da absorção d'água
ABNT NBR 12253	Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento
ABNT NBR 12023	Solo-cimento - Ensaio de compactação
ABNT NBR 12025	Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos
ABNT NBR 13554	Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem
ABNT NBR 12024	Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos
ABNT NBR 12265	Sub-base ou base de solo-brita
Geossintéticos	
ABNT NBR 12593	Amostragem e preparação de corpos-de-prova de geotêxteis
ABNT NBR 12553	Geotêxteis

- ABNT NBR 12569 Geotêxteis - Determinação da espessura
- ABNT NBR 12568 Geotêxteis - Determinação da gramatura
- ABNT NBR 12824 Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada - Ensaio de tração de faixa larga
- ABNT NBR 13134 Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada de emendas - Ensaio de tração de faixa larga
- ABNT NBR 13359 Geotêxteis - Determinação da resistência ao puncionamento estático - Ensaio com pistão tipo CBR
- ABNT NBR 12592 Identificação de geotêxteis para fornecimento

## **10. Anexo IV – Normas DNER**

---

### **Especificações de serviços**

- ES 039/71 Muros de arrimo. 2p.
- ES 044/71 Revestimento de taludes com solo-cimento.3p.
- ES 329/97 Obras de arte especiais - serviços preliminares.3p.
- ES330/97 Obras de arte especiais - concretos e argamassas.13p.
- ES 331/97 Obras de arte especiais- armaduras para concreto armado.8p.
- ES 333/97 Obras de arte especiais-formas.3p.
- ES334/97 Obras de arte especiais- fundações.13p.
- ES 335/97 Obras de arte especiais- estruturas de concreto armado.7p.
- ES 341/97 Proteção do corpo estradal- proteção vegetal.7p.

### **Instrução de Ensaio (IE)**

- IE 004/94 Solos coesivos - determinação da compressão simples de amostras inderformadas.11p.
- IE 005/94 Solos - adensamento.
- IE006/94 Materiais rochosos usados em rodovias - análise petrográfica. 4p.

### **Métodos de ensaio (ME)**

- ME 035/98 Agregados - determinação da abrasão Los Angeles.6p.
- ME036/94 Solo - determinação da massa especifica aparente in situ com emprego do balão de borracha.5p.
- ME 037/94 Solo - determinação da massa especifica in situ com emprego do óleo.3p.
- ME 040/95 Prospeção geofísica pelo método de eletrorresistividade. 17p.



- ME 041/94 Solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização.4p.
- ME 045/95 Prospeção geofísica pelo método da sísmica de refração.13p.
- ME049/94 Solos - determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. 14p.
- ME 051/94 Solos - análise granulométrica.12p.
- ME 052/94 Solos e agregados miúdos - determinação da umidade pelo método expedito *speedy*.
- ME 080/94 Solos - análise granulométrica por peneiramento.
- ME 082/94 Solos - determinação do limite de plasticidade. 3p.
- ME 083/94 Agregados - análise granulométrica. 3p
- ME 091/94 Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT-NBR 5739).
- ME 092/94 Solo determinação da massa específica aparente in situ com emprego do frasco de areia. 5p.
- ME 093/94 Solos - determinação da densidade real. 4p.
- ME 122/94 Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito. 7p.
- ME 129/94 Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas. 7p
- ME 131/94 Solos - determinação do módulo de resiliência. 8p.
- ME 162/94 Solos - ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. 7p
- ME 213/94 Solos - determinação do teor de umidade. 3p

### **Procedimentos (PRO)**

- PRO 002/94 Coleta de amostras indeformadas de solos. 12p.
- PRO 003/94 Coleta de amostras deformadas de solos. 4p.
- PRO 012/95 Fotointerpretação aplicada à engenharia rodoviária. 29p.
- PRO 014/95 Mapeamento geológico-geotécnico para obras viárias. 17p.
- PRO 102/97 Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo. 24p
- PRO 103/94 Coleta de amostras de óleos e graxas lubrificantes. 7p.
- PRO 380/98 Geossintéticos para obras rodoviárias
- PRO 381/98 Projeto de aterros sobre solo mole

## **11. Anexo V – Publicações ABGE**

---

ABGE ((1983) Métodos de descrição quantitativa de descontinuidades de maciços rochosos, São Paulo, ABGE CBMR, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Comitê Bras de Mecânica das Rochas.\

ABGE (1975) Ensaio de perda d'água sob pressão, Diretrizes, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Boletim no. 2, São Paulo, 16 p.

ABGE (1980) Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia 62 p.

ABGE (1990a) Diretrizes para a execução de sondagens, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Boletim Especial, 3ª edição, São Paulo,

ABGE (1996) Ensaio de permeabilidade em solos, Boletim 4, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 33 p.

ABGE (1998) Geologia de Engenharia, Editores: Oliveira A M S e Brito S, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 586 p.

## 12. Anexo VI – Publicações GeoRio

---

### Algumas publicações apresentadas em congressos:

Amaral, C, Maia, H., Sobreira, F. (1991) Ação Pós-desastre: Uma face da Geologia Urbana no Rio de Janeiro. O exemplo do Morro da Formiga, de fevereiro 1988 a março de 1991. *Simp. Geol. Sudeste*,2, São Paulo, SP, Atas, Vol.1, SBG/SP-RJ, p.255-262

Amaral, C, Xavier, E., Palmeiro, F., Siqueira, J. M., Brandão, L.J.R., Cruz, M.M, Arpex, R. (1997) Considerações sobre a correlação geologia escorregamentos nas encostas do Rio de Janeiro. *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 26, Julho de 1997, Rio de Janeiro, CD-ROM.

Amaral, C., Barros, W.T. (1991) Landslides Hazards in Rio de Janeiro: Case Histories, Investigation, Stabilization Works, Risk Assessment and Instrumentation, *Geotechnica 91 – International Trade Fair and Congress for Geosciences and Technology*, Köln, Alemanha, Sep. 1991, Proceedings, v.1, p.181-184.

Amaral, C., Mejido, E., Brito, H. (1996) Exemplo de Recuperação de Área Degradada: Uma exigência para a redução de desastres a escorregamentos. *Congr. Bras. De Geologia*, SBG, Anais, v.4, p.175. –

Andrade M H.N, Vieira L O M, Medeiros L V, Garga V K & Sayão A S J F (1997) Construção de Muros de Arrimo com Pneus Usados, *1º Congresso Paraguayo de Ingenieria Geotécnica del Mercosur*, Junho 1997 – Assuncion Vol. 1, pp 147 - 157.

Barros WT, Amaral C, d’Orsi RN (1992) Landslides susceptibility map of Rio de Janeiro, *Anais do 6º Simpósio Internacional de Deslizamentos* – pp 869 – 871

Barros, W. T., Gearaidini, R., Maia, H.S., Sobreira, F., Amaral, C. (1992) Santa Marta: Uma Trajetória em 6 anos de alto ao baixo risco de acidentes por deslizamentos. *Simpósio Latinoamericano sobre Risco Geológico Urbano*,2, Pereira, Colombia, Anais, Vol. 1, ACGA, p 23-33 –

Barros, W.T., De Lima, G.A.A., Vieira Cesar J.C., Lacerda, W.A. (1998) Stabilization of Rock Blocks and Rocks Spalls in Gneissic Rock Urban Zones of Rio de Janeiro. *Landslides*, Bonnard (ed.), Balkema, Rotterdam, p. 847-852 –

Bruno C M & Ehrlich M (1997) Performance of a Geotextile Reinforced Soil Wall, *2º Pan-American Symposium Landslides*, Rio de Janeiro

D’Orsi R N & Barros WT (1994) Waste as a High Risk “Geotechnical” Unit – Anais do 7º Congresso Internacional da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) – Lisboa Portugal – p.212-214 –Set.94 –

D’Orsi, R.N., Brito Filho, H.B, Feijó R.L, Ortigão J.ªR.(1997) Instrumentação Geotécnica na Encosta do Itanhangá, Anais do 5º Simpósio de Geologia do Sudeste, Penedo, p. 267-269

D’Orsi R, D’Avila C, Ortigao J A R, Dias A, Moraes L, Santos M D (1997) Rio-Watch: The Rio de Janeiro landslide watch system, *Proc. 2º PSL Pan-Am Symp. on Landslides*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 21-30

d'Ávila C J, Ortigão J A R, Silva S P, Moraes L P, Albuquerque M S, Santos M D A, e d'Orsi R N (1992) *Sigra*: Sistema de instrumentação geotécnica via rádio, *Cobrae Conferência Brasileira de Encostas*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 347-356

Lemos M L A, Nunes A L L, Geráidine R. (1992) Um programa de estudo experimental do comportamento de Ancoragens em Gnaisse – 1<sup>o</sup> Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1<sup>a</sup> Cobrae, Vol. 1, p. 135 a 148

Machado M J M, Cunha R P & Moreira A C (1990) Análise e solução para deslizamento de terra na favela da Rocinha 6<sup>o</sup> CBGE, *IX Cobramsef*, Salvador, Vol. 1

Ortigão J A R, d'Ávila C J R e d'Orsi R N (1994) Remote instrumentation of slopes in Rio de Janeiro during rainstorms, Proc. 7<sup>th</sup> *Int Symp of Engineering Geology*, Ed.: Oliveira et al., Balkema, vol 1, pp 1067-1073, Lisbon.

Ortigão J A R, d'Orsi R N, Shi J (1998) Neural networks and landslide-rainfall prediction, *Research Report submitted to the GEO*, January 1998, CMRC Construction Management Research Centre, Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong

Ortigão J A R, d'Orsi R, Brito H, D'Ávila C, Szendrodi C, Lobo A (1997) Remote instrumentation of the Itanhanga Hill, Proc. 2<sup>nd</sup> *PSL Pan-Am Symp. on Landslides*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 121-128

Ortigão J A R, d'Ávila C J R, Silva S P e Maia H S (1992) Solo grampeado no Morro da Formiga, RJ, *Cobrae Conferência Brasileira de Encostas*, Rio de Janeiro, vol 1, pp 47-56.

## 13. Anexo VII – Glossário Geológico

---

Ácida (Rocha) - Termo petrológico para uma rocha ígnea com mais de 65% em sílica. Ex.: Granito.

Acidente - Acontecimento calamitoso, em que foram registradas perdas sociais e/ou prejuízos econômicos.

Afanítica - Rocha de granulação muito fina, tendo seus constituintes individuais não distinguíveis à vista desarmada.

Álcali-feldspato - Grupo de feldspatos constituído por feldspato potássico, ortoclásio ou microclina ( $KAlSi_3O_8$ ) e por feldspato sódico, albita ( $NaAlSi_3O_8$ ).

Alcalina (Rocha) - Rocha ígnea caracterizada pela alta percentagem de álcalis em relação a sílica e a alumina. Ex.: Sienito.

Alúvio - Material detrítico de qualquer tamanho de grão, transportado e depositado pelos rios em tempo geológico recente.

Anticlinal - Dobra com a convexidade voltada para o alto e abrindo-se para baixo.

Aplito - Rocha ígnea de granulação fina, com escassos componentes escuros, ocorrente na forma de veios ou diques pouco espessos e com textura sacaroidal típica.

Atitude (Rocha) - Diz respeito a direção e mergulho de feições planares das rochas.

Bandamento Composicional - Definido por faixas paralelas de composições mineralógicas ou texturais diferentes.

Bandamento Gnáissico - Foliação das rochas gnáissicas. É comumente formada por camadas ou níveis de diferentes texturas, composições e cores.

Básica (Rocha) - Termo petrológico para uma rocha ígnea contendo entre 45% e 52% de sílica e normalmente com mais de 30% de minerais escuros. Ex.: Gabro, Diabásio.

Brecha - Rocha composta por fragmentos angulares de diferentes litologias, cimentados por material fino da mesma natureza litológica ou distinto. Sua origem é variável, por ex.: por trituração da rocha nas zonas de falha (Brecha de falha ou de fricção).

Câmbico (Solos) - Horizonte diagnóstico de um solo incipiente, pedologicamente pouco desenvolvido, marcado pela presença de minerais, fragmentos e seixos da rocha matriz. Comuns em áreas com relevo bem acidentado.

Campo de Matacões (Caos de Blocos) - Blocos ou matacões de rocha principalmente granítica, às vezes de diabásio, recobrando parte das vertentes. Alguns blocos podem demonstrar equilíbrio instável.

Cataclase - Granulação rúptil da rocha a baixa temperatura e baixa a moderada pressão de confinamento, ao longo da falha. Não há recristalização de minerais. É caracterizada por brechas megascópicas (com fragmentos visíveis), gouge, fraturas e falhas.

Cataclasito - Rocha com estrutura cataclástica, coesiva, cuja percentagem de fragmentos da matriz, varia de 50% a 90% em volume.

Cataclástica (Estrutura) - Diz respeito a estrutura fragmentar da rocha, produzida por cisalhamento essencialmente rúptil.

Cataclástica (Lineação) - Alinhamento de minerais e fragmentos de rocha devido a deformação rúptil, ao longo da falha.

Cataclástico (Fluxo) - Fluxo de partículas finamente granuladas ao longo da falha devido a deformação rúptil.

Catena - Sucessão de tipos de solo, desde um ponto elevado ou espigão, até o fundo do vale ou da planície, variando de acordo com a posição topográfica, independente da sua gênese.

Caulim - Argila pura, de cor branca, resultante da decomposição dos feldspatos por efeito da hidrólise em alto grau ou por processos hidrotermais. Predomínio da caulinita nos minerais de argila.

Cisalhamento (Zona de) - Faixa bem delimitada, de espessura e extensão variável, intrafoliada, anastomosada, tectonicamente geradas por cisalhamento rúptil, representado por rochas fragmentadas, ou por cisalhamento dúctil, representado por rochas miloníticas ou, então, por ambos tipos de cisalhamento.

Clástico - Termo aplicado a uma rocha composta de fragmentos de uma rocha pré-existente e que foram transportados do seu lugar de origem.

Clinômetro - Aparelho utilizado para se determinar, no campo, a declividade de uma encosta ou, então, a inclinação referente ao plano horizontal, de qualquer estrutura planar de uma rocha ou de uma massa rochosa.

Clivagem - É a propriedade que tem uma substância cristalina dividir-se, segundo planos paralelos. Nas línguas anglo-saxônicas, é uma estrutura planar, usualmente um fraturamento de espaçamento cerrado produzido por uma deformação (clivagem de fratura).

Clorita - Variedade de mica de cor verde-escura, formada pela alteração de biotita, piroxênios, anfibólios, granadas e olivinas ou por ação hidrotermal em fraturas (cloritização). É um silicato de Fe, Mg e Al.

Colúvio - Depósitos de encosta, incoerentes, heterogêneos, formados por uma mistura de fragmentos de rocha intemperizada, geralmente angulosos, solos e minerais, transportados mais ou menos recentemente dos divisores hidrográficos. Podem apresentar descontinuidades em seu interior.

Compressibilidade (Solo) - Medida da propensão do solo em diminuir seu volume sob a ação de cargas aplicadas.

Consistência (Solo) - Grau de resistência de um solo de granulação fina, para fluir ou se deformar em geral.

Cornijas - Abrupto saliente ou cimeira, capeado por uma camada de rocha dura, normalmente granítica, ressaltada por erosão diferencial. Ex.: Topo da Pedra da Gávea.

Creep (Rastejo) - Movimento lento e contínuo, segundo o declive, de massas rochosas geralmente incoerentes, em vias de decomposição, ou do próprio manto de intemperismo.

Cristalina (Rocha) - Aquela que é constituída de elementos cristalizados. Ex.: As rochas ígneas formadas em profundidade (plutônicas).

Cristalinidade - Grau em que os cristais estão desenvolvidos na rocha, especialmente nas rochas ígneas.

Crosta de Alteração - Camada de espessura variável que envolve fragmentos de rocha por ação intempérica. Ex.: Camada avermelhada, argilosa, que envolve fragmentos de diabásio.

Decomposição (Grau) - Refere-se a condição de intemperismo químico em termos das características físicas da rocha e ao estado de alteração dos seus minerais individualmente.

Diáclase - Plano que separa ou tende a separar em duas partes um bloco de rocha e ao longo do qual não se deu deslocamento. O mesmo que Junta.

Diorito - Rocha ígnea intrusiva, holocristalina de textura granular, cor negra-acinzentada, composição intermediária, com menos de 5% de quartzo, e constituída por minerais ferromagnesianos (anfíbólios e biotita), plagioclásios e acessórios.

Dique - Massa rochosa geralmente de origem ígnea, de forma tabular, introduzida discordantemente na rocha encaixante e adaptada a uma fratura e/ou falha. Ex.: Diques de granito, diques de diabásio, diques de fonolito, etc.

Eluviação (Solos) - Mobilização descendente de sesquióxidos de Fe e Al, argilas, partículas minerais e sais. O horizonte A é denominado eluvial devido a perda destas substâncias. O termo não tem conotação direta com o elúvio do manto de intemperismo. Vide iluviação.

Elúvio - Material residual originado por intemperismo ou erosão “in situ”. O mesmo que eluvião.

Equigranular (Textura) - Rocha ígnea cujos minerais guardam as mesmas dimensões entre si.

Erodibilidade - É a susceptibilidade que os solos tem de ser erodidos.

Erosividade - É a capacidade da chuva de desagregar partículas do solo, isto é, provocar erosão.

Espelho de Falha - Superfície polida de uma descontinuidade, originada pela fricção de duas faces opostas de um plano de falha.

Estrias de Falha - São riscos no espelho de falha produzidos por grãos mais duros e salientes durante a movimentação. Graças a estriação pode-se conhecer a direção do movimento da falha.

Exfoliação - Formação de cascas ou escamas sobre a rocha maciça, devido ao intemperismo. Tende a produzir formas arredondadas (Exfoliação esferoidal).

Extrusiva - Rocha ígnea formada na superfície da Terra por extrusão de um magma. Ex.: Basalto.

Fabric - É a conjugação da textura e estrutura de uma rocha. Em português trama.

Falha (Zona) - Quando o falhamento é expressado por uma zona de numerosas fraturas pouco extensas, mais ou menos alinhadas. As extensões e larguras são variadas.

Falha - São fraturas nas quais ocorre um deslocamento perceptível das partes, que se dá ao longo do plano de fratura.

Fanerítica - Tipo de textura de uma rocha ígnea em que os componentes são reconhecíveis a olho nú.

Félsico(a) - Grupo de minerais de cor clara, componentes de rochas ígneas, por ex.: quartzo, feldspato, muscovita, ou uma rocha ígnea composta principalmente desses minerais.

Foliação - Textura de rochas metamórficas e deformadas demonstrada pela orientação paralela de minerais placóides ou alongados.

Formação - Unidade litogenética fundamental na classificação local das rochas.

Gabro - Rocha ígnea básica intrusiva, de cor escura, composta principalmente de plagioclásio cálcico, piroxênio, com ou sem olivina e quartzo entre 0 - 20%.

Gnaiss - Rocha metamórfica de alto grau, macrocristalina, com bandeamento de minerais claros e escuros, geralmente composta de minerais comuns em granitos, tais como quartzo, feldspato e mica e com moderada a forte orientação planar, denominada estrutura ou foliação gnáissica, que é fornecida pela isorientação de minerais placóides ou de hábito prismático.

Gouge - Material de granulação muito fina (tamanho de silte e argila), ocorrente ao longo de algumas falhas.

Granito - Rocha ígnea intrusiva de cor clara, granulação grossa a fina, composta principalmente por álcali-feldspato, quartzo, mica e plagioclásio sódico. Quartzo entre 20% e 60%.

Granitóides - Termo genérico para um grupo de rochas petrograficamente constituídas por tonalito, granodiorito, álcali-granito e granito “sensu-stricto”.

Granodiorito - Rocha ígnea intrusiva, coloração média, granulação fina a grossa, composta principalmente por plagioclásio cálcio-sódico, quartzo, abundante biotita, e subordinadamente, álcali-feldspato e hornblenda. Tipicamente, contém mais minerais escuros que o granito. Quartzo entre 20% e 60%.

Hematita - Óxido de ferro,  $Fe_2O_3$  (70% Fe), de cor preta a cinza-escura, e com traço vermelho sangue. Granular, compacta ou micácea. Pigmento vermelho nos solos. Altera-se facilmente para limonita.

Hidratação - Consiste na combinação química da água com um determinado mineral. Ex.: Formação da limonita a partir da hematita.

Hidrólise - Tipo de intemperismo químico, em que a água, em seu grau de dissociação, desdobra os silicatos em seus íons. Ex.: A formação da caulinita a partir do feldspato potássico.

Hidrotermal (Atividade) - Ação das soluções residuais da consolidação magmática formada por água, sílica e um grande número de elementos metálicos que vão se depositando ou reagindo com a rocha percolada (alteração hidrotermal).

Holoceno - Quaternário recente. Últimos 10.000 anos da história da Terra.

Horizonte Freático - Corresponde ao nível hidrostático ou da água subterrânea, onde todos os poros da rocha estão saturados de água. Acima deste nível a água é denominada vadosa.

Húmus - Produto da decomposição microbiana e química de detritos orgânicos, de composição complexa e variável, atuando, geralmente, como ácido orgânico.



Ígneo (Rocha) - Rocha derivada da consolidação de um magma. O mesmo que rocha magmática.

Iluviação (Solos) - Concentração de argilas, sesquióxidos de Fe e Al, carbonatos, etc. no horizonte B pedológico.

Inequigranular (Textura) - Rocha ígnea cujos minerais não guardam as mesmas dimensões entre si.

Intemperismo - Conjunto de processos operantes na superfície terrestre, que ocasionam a desintegração e a decomposição dos minerais das rochas, graças à ação de agentes atmosféricos e biológicos. O produto final é o solo ou regolito.

Intermediária (Rocha) - Termo petrológico para uma rocha ígnea, contendo entre 52% e 65% de sílica, e normalmente com menos de 50% de minerais escuros. Apresenta pouco ou nenhum quartzo. Ex.: Sienito.

Intrusiva - Rocha ígnea consolidada em profundidade, também chamada de plutônica. As intrusivas podem ser abissais (consolidadas a grandes profundidades) ou hipoabissais (profundidades rasas), originando corpos ou plutons concordantes ou discordantes com a estruturação regional.

Isotrópica - Trama da rocha ígnea, em que os minerais constituintes não apresentam direção preferencial. O termo é também utilizado para indicar rochas ou solos que tenham as mesmas propriedades físicas em todas as direções.

Junta (Jogo) - Juntas que compartilham da mesma atitude na mesma área. Também denominado família de juntas.

Junta (Preenchimento) - Material alojado na junta. Pode ser produto de decomposição, minerais como quartzo e calcita (às vezes como veios), óxidos de manganês e caulim.

Junta (Sistema) - Dois ou mais jogos ou famílias de juntas na mesma área.

Junta - O mesmo que fratura ou diáclase (vide diáclase).

Juntas (de alívio ou de relaxamento) - ocorrem mais ou menos paraleladas a superfície topográfica, geralmente em rochas maciças, como por ex.: as graníticas.

Leucocrática (Rocha) - Rocha rica em constituintes claros, como o quartzo e o feldspato. Ex.: granito, leptinito.

Limonita - Óxido de ferro hidratado, resultante da alteração da hematita, da pirita, da magnetita e de outros minerais de ferro. Geralmente apresenta coloração amarelada ou ferruginosa.

Lineação - Arranjo linear, microscópico ou macroscópico, de elementos de rochas. Ex.: orientação de minerais, estrias nas rochas metamórficas, etc.

Lixiviação - Remoção de material por dissolução, lavagem ou drenagem por percolação da água da chuva, da água ou por outros líquidos.

Macroestrutura - Feição estrutural de uma massa de solo ou rocha, que pode ser identificada a vista desarmada. Faz contraste com microestruturas.

Macroscópico (Exame) - Exame das rochas que pode ser feito a olho nú, no campo, ou mesmo com o auxílio de uma pequena lupa. Só é praticável em trabalhos de reconhecimento geológico.

Máfico - Termo genérico para minerais escuros, ferromagnesianos, ou rochas ígneas compostas principalmente por estes minerais. São máficos: a biotita, o piroxênio, o anfibólio e a olivina.

Magma - Material silicatado em estado de fusão que, por consolidação, dá origem as rochas ígneas ou magmáticas.

Manto de Intemperismo ou de decomposição - Material superficial produto do intemperismo que recobre a rocha fresca. O solo também é parte do manto de decomposição ou de intemperismo. O mesmo que regolito.

Matriz - Material cristalino de granulação fina a média entre os megacristais ou pórfiros de uma rocha ígnea. O mesmo que mesostasis.

Melanocrática (Rocha) - Rocha ígnea contendo de 60 a 90% de minerais escuros (fêmicos). Todas as rochas básicas são melanocráticas.

Mergulho - O mesmo que inclinação. É o ângulo formado por uma camada, dique ou fratura, com o plano horizontal, tomado perpendicularmente à sua intersecção.

Mesocrática (Rocha) - Rocha ígnea contendo de 30 a 60% de minerais escuros (fêmicos). A maioria das rochas intermediárias são mesocráticas.

Metamórfica (Rocha) - Termo geralmente aplicado a uma rocha formada por reajustes mineralógicos, químicos e estruturais de uma rocha pré-existente devido a variações das condições físicas e químicas no interior da crosta (metamorfismo). Pode ter derivação sedimentar (parametamórfica) ou ígnea (ortometamórfica).

Meteorização - O mesmo que intemperismo.

Migmatito - Rocha mista, gnaissóide, com componentes metamórficos e ígneos conjuntamente. Apresenta estruturas tipicamente migmáticas, tais como nebulítica, estromática, embrechítica, etc.

Milonito - Rocha finamente triturada, fortemente foliada, com textura listrada ou bandada, produzida por cisalhamento dúctil e relacionada com falhas profundas. Redução do tamanho do grão e recristalização incompleta de minerais em condições dinamo-térmicas elevadas, caracterizam o fenômeno de milonitização.

Monoclinal - Também dobra de flexão, é um tipo de dobra em que ocorrer o encurvamento de apenas uma parte, permanecendo as demais na sua posição original.

Ped - Um agregado de partículas do solo. São classificados por sua forma, tais como, esferoidal, granular, farelento, prismático etc. Diz respeito a estrutura do solo.

Pegmatito - Rocha geralmente ígnea, constituída por cristais grandes, normalmente maiores de 10 cm, de composição quase sempre granítica e na forma de diques que cortam as rochas encaixantes.

Pirita - Mineral amarelo, de hábito cúbico, que ocorre como acessório em rochas principalmente básicas ou em faixas hidrotermalizadas. É um sulfeto de ferro.

Piroxênio - Mineral ferromagnésiano, prismático, comum nas rochas básicas.

Plagioclásio - Feldspato de coloração clara, cuja composição varia entre termos sódicos e termos cálcicos. Comum em rochas básicas ou pouco quartzosas, tanto ígneas como metamórficas.

Pleistoceno - Refere-se ao quaternário mais antigo, com idade entre dois milhões de anos e dez mil anos. Antecede o holoceno ou recente.

Pluton - Corpo de rocha ígnea, formado em regiões profundas da crosta.

Plutônica (Rocha) - Rocha ígnea consolidada a grandes profundidades na crosta. A textura é caracterizada por apresentar alto grau de cristalinidade e quase sempre equigranular. Ex.: Gabro, Granito, Granodiorito, etc.

Porfírica (Textura) - Tipo de textura das rochas ígneas em que se observam cristais maiores (fenocristais), imersos numa massa fundamental cristalina (matriz).

Porfiroblastos - São grandes cristais de uma rocha metamórfica, produto de recristalização estática ou dinâmica.

Porfiroclastos - São grandes cristais reliquias de forma arredondada em rochas milonitizadas. Os porfiroclastos também são chamados de “augen”.

Pórfiros - São grandes cristais, ou fenocristais, de uma rocha magmática.

Quartzito - Rocha metamórfica não foliada, consistindo principalmente de quartzo. É formado pelo metamorfismo em arenitos.

Quaternário - Período da Era Cenozóica, que iniciou há dois milhões de anos. Divide-se em Pleistoceno e Holoceno.

Recristalização - Crescimento de um mineral pré-existente ou formação de um novo mineral na rocha devido ao metamorfismo.

Regolito - O mesmo que manto de intemperismo.

Resistato - Mineral resistente à decomposição intempélica, permanecendo individualizado nos solos e aluviões. Ex.: Quartzo.

Resistividade - É a medida da capacidade de um material geológico em retardar ou impedir o fluxo da eletricidade. É o oposto da condutividade.

Rocha - Agregado de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições existentes de temperatura e pressão, durante sua formação. As rochas, de acordo com seu modo de formação, constituem três grandes grupos: ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas, cada qual com características peculiares.

Sacaroidal (Textura) - Textura granular das rochas ígneas que se assemelha ao açúcar cristalizado. Comum nos aplitos.

Saprolito - Termo utilizado para caracterizar rocha completa, ou parcialmente intemperizada in situ. Ainda retem evidências da textura, estrutura e trama da rocha original.

Schlieren - Porções de uma rocha ígnea que diferem da massa principal em composição mineral. Geralmente aparecem em granitos como nesgas ou farrapos alongados ricos em biotita.

Sericita - Variedade sedosa de muscovita, ou finas placas, untuosa ao tato, e geralmente de coloração esverdeada. É um mineral secundário derivado da alteração de aluminossilicatos (feldspatos, nefelina e outros). Por intemperismo pode se alterar em caulinita ou gibbsita. Também ocorre em caixas de falha e em produtos da alteração hidrotermal.

Sienito - São rochas plutônicas intermediárias, também denominadas rochas alcalinas devido ao alto conteúdo de álcalis (K e Na) na composição dos minerais essenciais. Apresenta menos de 20% de quartzo, o plagioclásio (sódico) também não perfaz mais de 20%. Os minerais ferromagnesianos são a biotita, a hornblenda e a aegirina. Pode ocorrer feldspatóides como a nefelina ou a sodalita no lugar do quartzo, como nos sienitos nefelínicos do Maciço Gericinó-Mendanha, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. São rochas relativamente raras.

**Silicificação** - Aporte de sílica, geralmente na forma de calcedônia, que preenche descontinuidades, particularmente nas zonas de falha. No Rio de Janeiro é comum a presença de brechas de falha com cimento calcedônico e também fraturas com fenômenos de silicificação hidrotermal.

**Sillimanita** - Um alumino-silicato que ocorre em rochas geralmente parametamórficas (derivadas do metamorfismo em rocha sedimentar) de grau elevado.

**Sinclinal** - Dobra com a convexidade voltada para baixo, abrindo-se para cima.

**Slicken sides** - São estrias de atrito ou de fricção que aparecem nos planos ou espelhos de falhas.

**Solifluxão** - Saturação do solo pela água originária das chuvas torrenciais, que pode levar ao desenvolvimento de movimentos rápidos de massa.

**Solo** - Em Geologia, é o produto final do intemperismo das rochas, isto é todo o manto de intemperismo. Em Pedologia, é o material rochoso desintegrado e decomposto que, sob a ação de processos químicos, físicos e biológicos pode fornecer as condições necessárias ao crescimento das plantas através de suas raízes. Em Engenharia, solo é todo o material terrestre naturalmente formado, granuloso, que pode ser escavado e removido sem auxílio de explosivo.

**Solo Residual** - Solo derivado da rocha intemperizada in situ, em que todos os traços da textura, estrutura e trama da rocha original foram destruídos.

**Tálus** - Depósito de sopé de escarpas, mal selecionados, de grande heterogeneidade e principalmente formados por efeito da gravidade sobre fragmentos soltos. Seus constituintes são angulosos e dispõem-se sem acamamento regular.

**Tectônica** - Termo referente a movimentos crustais associados a uma geodinâmica interna do planeta. Como consequência dessa atividade, são formadas fraturas, falhas, juntas, dobras, cisalhamentos e certos tipos de rochas como por ex. o milonito.

**Tectonitos** - Rochas originadas exclusivamente por processos de deformação, tanto dúctil como frágil devido a um fenômeno tectônico. Ex.: brechas de falha, milonitos, cataclasitos, etc.

**Terciário** - Período da era Cenozóica compreendido aproximadamente entre 65 e 2 milhões de anos.

**Textura (Rocha)** - Aspecto menor inerente à rocha, referente ao conjunto de relações intergranulares de tamanho e forma dos cristais ou clastos que a compõem. As denominações texturais e os critérios utilizados em sua determinação, variam segundo o tipo de rocha considerada. Ex.: textura equigranular de algumas rochas ígneas.

**Textura (Solo)** - Refere-se às proporções dos vários grupos de grãos individuais que formam o solo. Especificamente refere-se às proporções de argila, silte e areia. Na prática, o conhecimento da textura do solo é feito mediante o procedimento conhecido como análise tátil-visual. Ex.: Classes de textura do solo: argilo-siltosa, franco arenosa etc.

**Tonalito (Rocha)** - Rocha ígnea intrusiva, com mais de 20% de quartzo e com plagioclásio (cálcico) acima de 90% do total de feldspatos, tendo a biotita e a hornblenda como principais minerais escuros. É um tipo de granitóide.

**Tors** - Feição morfológica típica de terrenos graníticos bem diaclasados, representada por aglomerados de matacões, ligeiramente arredondados, empilhados uns sobre os outros, que sobressai no topo dos morros. Quando constituído de gnaisses, os blocos tendem para uma forma alongada ou tabular.

Trama (Rocha) - Termo equivalente ao “fabric”. É o conjunto de relações textura e estrutura de uma rocha e geralmente refere-se a orientação espacial dos cristais, clastos e agregados policristalinos não equidimensionais, dentro de um corpo rochoso.

Veio - Uma intrusão delgada, preenchendo uma descontinuidade, e quase sempre formada de quartzo. A maioria é de origem ígnea.

Viscosidade - Resistência de um líquido em fluir devido a fricção interna.

Xenocristal - Mineral ou cristal não identificado geneticamente com o magma formador da rocha ígnea que o abriga.

Xenólito - Fragmentos de rocha encaixante ou pré-existente, incluso numa rocha ígnea intrusiva.