UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MECANISMO DE UM ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL
EM SOLO OCORRIDO EM DEZEMBRO DE 1979 NOS
MORROS DE SANTOS E SÃO VICENTE
ESTADO DE SÃO PAULO

Marcio Angelieri Cunha

Orientador: Prof. Dr. Sergio Estanislau do Amaral

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	<u>Dr. S.E. do Amaral</u>	<u>Sergio Estanislau do Amaral</u>
Examinadores:	<u>Dr. A.C. Rebouças</u>	<u>Antonio Carlos Rebouças</u>
	<u>Dr. M.A. Kanji</u>	<u>Mahmoud Kanji</u>

São Paulo
1984

MECANISMO DE UM ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL EM SOLO
OCORRIDO EM DEZEMBRO DE 1979 NOS MORROS DE
SANTOS E SÃO VICENTE, ESTADO DE SÃO PAULO

MARCIO ANGELIERI CUNHA

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Instituto de Geociências da
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Sergio Estanislau do Amaral

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004829

São Paulo

1984

À Ieda, minha esposa, e Melisa, minha filha, pela harmonia que me proporcionam na vida particular, sem a qual seria impossível a meditação e raciocínio, fatores fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

ABSTRACT

The occurrence of slides in Santos and São Vicente hill-slopes area, situated by the coastal region of São Paulo State, Brazil, is analysed in this dissertation.

In its first part two distinct events of slides occurred in 1978 and 1979 have been comprehensively studied. After that, an individual study of a typical slide selected from the 1979 event is carried out with a failure mechanism being proposed.

The methods employed in this study gave emphasis to the development of fieldwork activities as the best approach to the understanding of the phenomena associated with the slides.

The results so obtained allowed in the first part of the study to correlate the different types of slides with the various conditions of the environment studied. In its second part they allowed to confirm the process of the typical slide selected as the most common one amongst all the events that presently occur on the region natural hill-slopes as well as to establish that the slides are closely related to the specific geological and geomorphological local conditions. It was also verified that the occurrence of such events on the hill-slopes has a return period of one year and that creeping processes have an important role in the establishment of the physical characteristics of the area as well as in the conditions for the occurrence of slides.

RESUMO

Este trabalho faz uma análise da ocorrência de escorregamentos na área compreendida pelos Morros de Santos e São Vicente, no litoral do Estado de São Paulo-Brasil.

Apresenta inicialmente uma primeira parte onde os escorregamentos são analisados de forma global, em dois episódios distintos, ocorridos em 1979 e 1978.

Posteriormente apresenta um estudo específico sobre um escorregamento representativo do episódio de 1979, para o qual é proposto um mecanismo de mobilização.

Os métodos adotados neste trabalho enfatizaram o desenvolvimento de estudos de campo, como forma de melhor conhecer os fenômenos associados a escorregamentos.

Os resultados encontrados permitiram na primeira parte deste trabalho associar os diversos tipos de escorregamentos as diversas condições do meio físico estudado. Na segunda parte permitiu confirmar que o escorregamento estudado representa o tipo de processo mais comum, dentre os diversos que atualmente ocorrem nas encostas dos morros, e que têm relação direta com determinadas condições geológicas e geomorfológicas locais; que existe uma ciclicidade anual dos processos que ocorrem nas encostas dos morros; e que o processo de rastejo possui papel determinante na configuração do local e condições para a ocorrência dos escorregamentos.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar aqui os meus agradecimentos ao Geól. Ricardo Fernandes da Silva, Diretor da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao orientador Prof. Dr. Sergio Estanislau do Amaral, pela atenção e sugestões efetuadas, principalmente na fase final deste trabalho.

Ao colega Álvaro Rodrigues dos Santos, pela colaboração na escolha do tema e incentivo durante o trabalho.

Ao colega Guido Guidicini pela leitura e sugestão no texto preliminar e ao Prof. Dr. Paulo Cruz pelas sugestões e discussões do texto final.

Aos colegas do Agrupamento de Geologia Aplicada da DMGA que de alguma forma colaboraram neste trabalho e aos colegas do Projeto Morro de Santos que comigo trabalharam em 1978.

À Prefeitura Municipal de Santos, pela cessão de fotos e plantas dos morros, e de modo especial agradeço ao Sr. Laurival Rodrigues, funcionário daquela Prefeitura e grande conhecedor dos morros, pelo acompanhamento durante a fase inicial dos trabalhos de campo.

Ao técnico Floriano Peixoto de Aquino, pelo apoio nos trabalhos de campo e de escritório.

Ao técnico Benedito Mariano Mendes, pelo apoio de escritório na fase final deste trabalho.

A bibliotecária Márcia R.M. Saad pela ordenação das referências bibliográficas.

À Aradi J. Cruz, pelos serviços de datilografia, à Débora F.F. Orsi, pela correção final do texto e a Seção de Desenho da DMGA pela elaboração das ilustrações.

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Preliminares	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Localização dos Estudos	2
1.4 Trabalhos Anteriores sobre os Escorregamentos dos Morros	4
2 ANÁLISES DOS ESCORREGAMENTOS DOS MORROS	7
2.1 Apresentação	7
2.2 Aspectos Geológicos Regionais	7
2.3 Principais tipos Litológicos	8
2.4 Compartimentação Morfológica	12
2.5 Principais Tipos de Solo	15
2.6 Aspectos Climáticos Regionais	16
2.7 Classificação e Definições dos Movimentos de Massa	21
2.7.1 Critérios adotados	21
2.7.2 Queda de bloco	24
2.7.3 Escorregamento	25
2.7.4 Fluxos	29
2.7.5 Rastejo	30
2.8 Os Agentes e as Causas dos Movimentos de Massa	31
2.9 Principais Episódios de Escorregamento nos Mor- ros Santos e São Vicente	32
2.10 Os Escorregamentos Ocorridos em 1979	34
2.11 Análise de 2 Episódios de Escorregamentos (1978 e 1979)	38

	P.
2.12 Conclusões	43
3 ESTUDO DE UM ESCORREGAMENTO	45
3.1 Considerações Preliminares	45
3.2 Características Geomorfológicas da Área Tipo .	45
3.3 Características Geológico-Geotécnicas	49
3.4 Características das Interferências Antrópicas.	50
3.5 Esboço das Evidências dos Fenômenos	50
3.6 Compartimentação da Área Tipo	55
3.7 Caracterização do Escorregamento	59
3.8 Perfil de Intemperismo Típico no Local de Es- corregamento	62
3.8.1 Considerações gerais	62
3.8.2 Caracterização de um perfil típico	63
3.8.3 Descrição dos horizontes	68
3.9 Observações sobre a Cicatriz do Escorregamento	71
3.10 Considerações sobre o Local de Deposição e o Material Mobilizado no Escorregamento	74
3.11 Retroanálise	78
3.12 Conclusões parciais	80
4 MECANISMO DO ESCORREGAMENTO OCORRIDO EM DEZEMBRO DE 1979	81
4.1 Apresentação	81
4.2 Primeira Fase	82
4.3 Segunda Fase	84
4.4 Considerações e Discussões Sobre as 1. ^a e 2. ^a Fa- ses	86
4.5 Terceira Fase	91
4.6 Conclusões	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Figuras		P.
1	Localização dos estudos	3
2	Mapa litológico dos morros de Santos e São Vicente (Carneiro et al. 1979; simplificado)	9
3	Unidades morfológicas geométricas do perfil da encosta (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a)	14
4	Médias mensais das precipitações pluviométricas no período 1941-1980 - Posto Pluviométrico do Sabão - Prefixo E3-210	18
5	Precipitações pluviométricas anuais no período 1941-1980. Posto Pluviométrico do Sabão - Prefixo E3-210	19
6	Localização dos escorregamentos ocorridos em 1979, 1978 e 1956	44
7	Caracterização geológica e geomorfológica da área tipo	48
8	Fenomenologia da área tipo	51
9	Detalhe encontrado no perfil EF. Observe-se a condição particular de instabilidade da encosta	54
10	Representação por perfis das Zonas I, IIA, IIB e III	57
11	Caracterização geológico-geotécnica do escorregamento estudado	61
12	Perfis de intemperismo no local do escorregamento. Estaca 2 + 1 m e 5 + 1 m (para localização vide Figura 11)	64

Figuras

P.

13	Perfis de intemperismo no local do <u>es</u> corregamento. Estaca 6 e 8 (para localização <u>vi</u> de Figura 11)	65
14	Perfil de intemperismo típico no local do <u>es</u> corregamento	66
15	Perfis de intemperismo completo e <u>in</u> completo do local do <u>es</u> corregamento	67
16	Perfil longitudinal do <u>es</u> corregamento <u>estu</u> dado (perfil obtido da Figura 11 deste <u>tra</u> balho)	79
17	Precipitação pluviométrica no período <u>jane</u> iro de 1979 a agosto de 1980. Determinação das fases associadas aos processos de <u>insta</u> bilidade de encosta (Posto Pluviométrico <u>Sa</u> boão - E3-210)	83
18	Zonas de infiltração (segundo Bodman e <u>Co</u> leman, 1944 in Morgenstern e Matos, 1975) .	86
19	Contração e dilatação de uma amostra de <u>so</u> lo em um plano inclinado	87
20	A ruptura de declive e o processo de <u>raste</u> jo	88
21	Condição crítica da encosta imediatamente antes do <u>es</u> corregamento caracterizando a 3. ^a fase	93

Tabelas

P.

1	Composição mineralógica estimada das rochas dos morros de Santos e São Vicente (Carneiro et al., 1979)	11
2	Resultados dos ensaios de laboratório em solos e da caracterização de campo (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a)	17
3	Relação dos episódios de chuva e escorregamentos na Baixada Santista (Guidicini e Iwasa, 1976; modificada)	20
4	Terminologia utilizada para movimentos de massa nos morros de Santos e São Vicente (Varnes, 1958; modificada)	23
5	Escala de velocidades para movimentos de massa (Varnes, 1958)	24
6	Representação da simbologia dos movimentos de massa na região dos morros de Santos e São Vicente	35
7	Elemento utilizado para o cadastramento dos movimentos de massa (Escorregamento nº 01 da Tabela 10)	36
8	Características dos escorregamentos ocorridos em dezembro de 1979 (o nº 02 ocorreu em abril/80)	37
9	Características dos escorregamentos 01 a 25 ocorridos em janeiro e março de 1978 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a; modificada)	39
10	Características dos escorregamentos 26 a 45 ocorridos em janeiro e março de 1978 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a; modificada)	40

Tabelas

P.

11	Síntese geral dos escorregamentos ocorridos nos eventos de 1978 e 1979.	42
12	Características das zonas que compõem a área tipo	56
13	Descrição e características geotécnicas dos perfis de intemperismo das rochas ígneas e metamórficas (Deere e Patton, 1971; modificada)	72
14	Seqüência dos fenômenos que ocorrem em uma encosta natural num período de 12 meses	94

Fotos

Pág.

1	Par estereoscópico mostrando a área de estudo e adjacências. Notar o estágio de ocupação da encosta acima da estrada (1962)	46
2	Vista aérea da área de estudo (1972)	47
3	Aspectos da Zona IIB da área tipo antes de ocorrer o escorregamento. A seta indica o trajeto na encosta do material envolvido no escorregamento estudado e o círculo indica o local de acumulação (março/78)	58
4	Aspecto da Zona III, onde se nota o extenso afloramento rochoso e o depósito de tálus na base, totalmente ocupada por habitação (março/78)	59
5	Detalhe do solo superficial superposto diretamente sobre o horizonte rochoso alterado e pouco fraturado (abril/80)	68
6	Vista da raiz do escorregamento. Notar as exposições rochosas existentes antes do escorregamento (1), aquelas que tiveram as suas exposições aumentadas (2), e aquelas que localmente se expuseram decorrentes de mobilização do material (3) (abril/80)	74
7	Vista do final do corpo de escorregamento. Notar o acúmulo de material na base (17.12.79).	75

Fotos

Pág.

8	Vista da base do escorregamento onde foram destruídas 4 casas e vitimadas fatalmente 10 pessoas. Notar a condição de fluidez do material mobilizado (17.12.79)	76
9	Vista do corpo e base do escorregamento onde pode-se notar a retomada da vegetação (abril/80).....	77

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações preliminares

Os escorregamentos, quando referidos em seu amplo senso, envolvem várias áreas técnicas exigindo um enfoque sob diversos ângulos. Entretanto, muitas vezes há uma abordagem unilateral, dificultando sobremaneira o entendimento de sua dinâmica global como de fato ela se apresenta na natureza. Isso, sem dúvida, acaba muitas vezes por comprometer conclusões ou soluções que passam a ser elaboradas, quando o fenômeno é estudado como um problema que deve ser resolvido a um determinado custo.

Nas áreas dos morros de Santos e São Vicente, que possuem evidente importância frente às conseqüências que um episódio de escorregamento vem acarretar, foram realizados estudos específicos que procuraram integrar as características do meio físico com os fenômenos ocorrentes, procurando assim contribuir com um melhor entendimento dos mecanismos de instabilização daquelas encostas naturais.

Deve-se ressaltar que esses mecanismos podem ser extrapolados para condições semelhantes, como a Serra do Mar, cuidando-se, entretanto, para que haja efetivamente a comparação entre mesmos padrões físicos, principalmente de ordem geológica, geomorfológica, geotécnica, cobertura vegetal, e climáticas visando desta forma evitar generalizações casuísticas.

Na própria Serra do Mar, que é um meio físico considerado como dos mais problemáticos para implantação de obras civis, podem-se identificar meios físicos particulares, associados a litologias e morfologias (para citar apenas condicionantes isolados), que apresentam compartimentos constataadamente diferentes. Exemplos nessa região

foram citados pelo trabalho de Santoro e Cunha (1976), que associaram a geologia e a geomorfologia da Serra de Cubatão com tipos de fenômenos distintos e mais recentemente pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981a) em estudos específicos na Serra do Quilombo onde é abordada essa mesma relação.

No presente trabalho a associação dos diversos fenômenos com as características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas e outras, é apresentada de forma ressaltada, pois entende-se atualmente que esta deva ser a função precípua da Geologia de Engenharia como um dos ramos da Ciência.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos:

- analisar um episódio de escorregamento ocorrido em dezembro de 1979 nos morros de Santos e São Vicente;
- estudar em detalhe o principal escorregamento deste episódio, visando compreender sob o aspecto fenomenológico, os mecanismos que atuaram no desencadeamento desse processo.

1.3 Localização dos Estudos

Os morros de Santos e São Vicente, onde desenvolvem-se estes estudos, constituem basicamente um corpo individualizado desenvolvido sob a direção norte-sul, situado dentro da área ocupada pelas cidades de Santos e São Vicente. Possui altitudes máximas em torno de 210m e sua área total atinge aproximadamente 8 km². Comporta uma população de 30 000 habitantes (estimativa de 1976), distribuídos irregularmente e concentrados principalmente nas proximidades do centro comercial da cidade de Santos, existindo ainda áreas totalmente desabitadas e que conservam parte da vegetação original.

Inicialmente o presente estudo foi realizado em toda a extensão desses morros, através de um cadastramento dos escorregamentos ocorridos em dezembro de 1979. Em seguida foi definida uma área representativa desses morros, com cerca de $82\ 000\ m^2$, situado no Morro de Nova Cintra, onde procederam-se aos estudos de detalhe sobre o comportamento dos diversos perfis de sua encosta. Posteriormente os estudos restringiram-se a uma cicatriz de um dos escorregamentos ocorrido em 16/12/79 (Figura 1).

FIGURA 1 - Localização dos estudos

1.4 Trabalhos anteriores sobre os escorregamentos nos morros

Os escorregamentos nos morros de Santos e São Vicente têm sido de alguma forma registrados desde a grande catástrofe de 1928, onde foi marcante a destruição de edificações e vidas humanas. Entretanto, registros mais específicos, de caráter mais técnico sobre o assunto, só vieram a ser relatados a partir de 1956.

Vargas et al. (1956a), em "Relatório da Comissão nomeada pelo Governador do Estado para investigar as ocorrências catastróficas de Santos", descrevem com detalhes os escorregamentos desse episódio e, de uma forma geral, a sua relação com a geologia, fisiografia e regime de chuvas. Apresentam as causas conforme proposto por Terzaghi (1953), em internas e externas. Concluem o trabalho recomendando um estudo de detalhe visando regulamentar e fiscalizar a ocupação nos morros.

Vargas et al. (1956b) e Vargas e Pichler (1957) analisaram os escorregamentos do Monte Serrat ocorridos em 1928 e o da encosta da Caneleira de 1956. Apresentam inicialmente os aspectos geológicos gerais dos morros, caracterizando-os como um maciço granito-gnáissico, com zonas xistosas e intrusões básicas, recobertos por espesso manto residual ou simplesmente com exposições rochosas. A partir dos dados geológicos interpretam e classificam, através de uma seção esquemática de um dos morros, 3 tipos principais de escorregamentos: em solo residual profundo, em solo residual raso e em rocha. Apresentam os resultados dos ensaios realizados e os cálculos de estabilidade, concluindo que os dois escorregamentos foram provocados pela diminuição da resistência ao cisalhamento do solo residual, decorrente do aparecimento de pressões neutras nos poros, originados pela percolação de água no solo conseqüente da infiltração da chuva.

Pichler (1957) aborda os aspectos geológicos gerais e os escorregamentos de 1928 e 1956, associando a sua ocorrência a dois grupos de causas: básicas e as efetivas. As primeiras corresponderiam às condições geológicas e à ação do homem (construção de casas, abertura de pequenos cortes, drenagem ineficiente), que caracterizaria uma diminuição da resistência ao escorregamento do manto de solo. As segundas seriam as precipitações intensas e prolongadas, que proporcionariam a saturação do solo, reduzindo a resistência ao cisalhamento, o que permitiria o início quase que simultâneo dos escorregamentos.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1958) apresenta uma apreciação geológica sobre a estabilidade da encosta localizada no Monte Serrat, próxima ao antigo Cassino. Através de estudos de superfícies e de subsuperfície, conclui pela inexistência de perigo iminente de escorregamento nessa área, sugerindo, entretanto, várias medidas preventivas de estabilização.

A Tecnosolo Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A. (1964) apresenta um relatório abordando aspectos gerais da geologia e mecanismo de alteração das rochas, além de uma série de recomendações para estabilização de locais identificados como instáveis.

Vargas (1966 e 1967), descrevendo escorregamentos em taludes naturais aborda dentre outros os ocorridos em Santos em 1928 e 1956, apresentando as prováveis razões que levaram o desencadeamento do processo.

Em 1978, foi realizado um estudo mais amplo pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1978a), com o objetivo de elaborar uma carta geotécnica com recomendações para ocupação urbana. Para este trabalho foram desenvolvidos levantamentos detalhados de geologia, estruturas, geomorfologia, clinometria, ocupação urbana, vegetação, escorregamento e evidências de movimentação. Este estudo

do foi bastante aprofundado, e veio representar um novo marco nas concepções de tratamento generalizado de áreas sujeitas a escorregamentos como as dos morros de Santos e São Vicente.

Foram realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas vários outros trabalhos sobre os escorregamentos, tratando da indicação de locais críticos na área de morros, incluída no Município de Santos (1978b) e no de São Vicente (1978c); estudos específicos para definição de obras de estabilização de taludes e encostas naturais sob a influência da estrada de interligação dos morros (1978d e 1980); critérios pluviométricos para previsão de escorregamentos como medidas preventivas de emergência (1981b); recomendações de obras e serviços prioritários de caráter de emergência, baseados no levantamento de áreas consideradas instáveis e no seu cadastramento sócio-econômico (1981c).

Pires Neto (1979) apresenta uma carta geomorfológica dos morros de Santos e São Vicente, caracterizando diversos processos que atualmente se desenvolvem na área.

Como último trabalho existente nos morros e que diz respeito a escorregamentos, refere-se ao estudo desenvolvido conjuntamente pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Prefeitura Municipal de Santos e PRODESAN (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981d), que propõem diretrizes técnicas para a elaboração de um Código de Uso e Ocupação do solo nos morros, baseando-se nas condicionantes do meio físico (Carta Geotécnica) e na legislação vigente.

2 ANALISE DOS ESCORREGAMENTOS DOS MORROS

2.1 Apresentação

O entendimento de um processo evolutivo atual, do tipo escorregamento, por menor que sejam as suas dimensões, exige um conhecimento mais amplo das características físicas do meio em que se encontra.

Desta forma é apresentada aqui uma síntese bibliográfica destas características que subsidiarão as conclusões do primeiro objetivo deste trabalho, que é análise de dois episódios de escorregamento em 1978 e 1979.

Os aspectos de interesse referem-se a geologia regional, principais tipos litológicos, compartimentação morfológica, principais tipos de solo, clima, e processos atuantes na área.

2.2 Aspectos geológicos regionais

Os trabalhos existentes mais recentes de cunho regional que abrangem a área dos morros de Santos e São Vicente são os de Almeida et al. (1981), Hasui e Sadowski (1976), Sadowski (1974), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1973) e Coutinho (1971). Dentre estes, Sadowski (1974) é o que mais detalhadamente descreve a geologia da região da Serra de Cubatão.

Segundo Sadowski (1974) a região é composta por blocos tectônicos distintos, separados pelo falhamento de Cubatão o qual possui a orientação das estruturas regionais segundo $N70^{\circ}E$. O bloco Juquitiba situado a NW deste falhamento é constituído por ectinitos e migmatitos do Grupo Açungui com freqüentes sinais de retrometamorfismo e presença de paleossomas xistosos nos migmatitos. O bloco Litorâneo, situado a SE do falhamento, é composto por migmatitos do Complexo Piaçaguera (Hasui e Sadowski, 1976), essencialmente oftalmíticas e de paleossomas de composição gnáissica, penetrados por vários corpos de

granitos pós-tectônicos intrusivos. Nos morros de Santos e São Vicente, Sadowski (op. cit.) define o granito de Santos de origem pós-tectônica, cortando duas variedades de migmatitos.

2.3 Principais tipos litológicos

Carneiro et al. (1979) em trabalho de detalhe nesses morros identificaram rochas cristalinas do proterozóico inferior a superior, constituídos por migmatitos do Complexo Piaçaguera (migmatitos estromatíticos e migmatitos de paleossoma dominante) e granitos com megacristais orientados (também denominados granitóides embrechíticos). O proterozóico superior ou cambro-ordoviciano estaria representado na área pelo granito Santos, de caráter intrusivo e pós-tectônico.

Os migmatitos possuem uma complexidade litológica muito acentuada e estruturas internas e relações de contato entre as rochas também complexas, compatíveis com uma evolução também complexa dessa região.

A partir do trabalho anteriormente citado, são apresentadas de forma resumida as características dos tipos litológicos de maior ocorrência na área e que possuem relação com os escorregamentos analisados. Na Figura 2, é mostrada a disposição das várias litologias que ocorrem nos morros.

. Migmatitos de paleossoma dominante (PEMg)

Essas rochas distribuem-se por toda a extensão dos morros formando faixas sempre alongadas, de comprimento e larguras variáveis desde dimensões decimétricas até algumas centenas de metros. Sustentam os seus relevos mais baixos e suaves. Os solos originados dessas rochas possuem coloração avermelhada, comportando espessuras variáveis, geralmente maiores que nas outras unidades, devido provavelmente à grande quantidade de oligoclásio e biotita-clorita. Os horizontes rochosos alterados ou a transi

Obs - PARA LOCALIZAÇÃO REGIONAL VIDE FIGURA 1 .

FIGURA 2 - Mapa litológico dos morros de Santos e São Vicente (Carneiro et al. 1979, simplificado).

ção solo-rocha (vide definições item 3-7) freqüentemente apresentam esfoliação esferoidal. Predomina nesta rocha a coloração cinza média e escura, aspecto homogêneo, granulação média a fina e forte orientação gnáissica. Os minerais essenciais são oligoclásio, microclina microper_títica, biotita e hornblenda (Tabela 1). As texturas são a granolepidoblástica e a granonematoblástica, por vezes ocorrendo cristais maiores, que não atingem dimensões de porfiroblastos.

. Migmatitos estromatíticos (PEMe)

Os migmatitos estromatíticos são mais freqüentes na porção NE dos morros, onde formam corpos lenticulares e alongados com larguras variáveis desde métrica até decamétrica. As espessuras do solo de alteração que recobre os estromatíticos são consideráveis, atingindo mais de uma dezena de metros em pontos restritos. A ocorrência de matacões é ocasional. Possuem um bandamento de coloração cinza média, granulação média a fina e forte orientação gnáissica. Os minerais essenciais são: microclina microper_títica, quartzo e oligoclásio (Tabela 1), que compõem principalmente as bandas de neossoma, mas ocorrem também nas faixas de paleossoma onde o plagioclásio é mais abundante. As texturas presentes são a gnáissica, granoblástica e em "flaser". Localmente encontram-se faixas de granitóides embrechíticos, quartzitos de aspecto homogêneo e restos de hornblenda-biotita gnaisses que compõem o paleossoma dos migmatitos.

. Granito com megacristais orientados (PEYO)

É a unidade mais freqüente, e são designados também por granitóides embrechíticos. Os solos provenientes dessa rocha geralmente são pouco espessos, apresentando matacões esparsos e exposições rochosas nas cristas das

LITOLOGIA	MIGMATITOS PcMg PcMe			GRANITO COM MEGACRISTAIS ORIENTADOS Pc ₁₀					MILONITOS RE CRISTALIZADOS		GRANITO SANTOS Y _s	
AMOSTRA	MS-86	MS-136	MS-161	MS-20	MS-27	MS-34E	MS-128II	MS-142	MS-29	MS-172	MS-01	MS-31
Microclina- -microperthítica	25-30	20-25	35-40	40-45	40	40	40	45	30-40	40	40	40
Quartzo	10-15	5-10	25-30	35	20-25	25	35	25-30	30	25-30	30	30-35
Oligoclásio	35-40	40	35	20	30	20-25	25	25	30	20-30	20-25	20-25
Biotita-clorita	10-15	15-20	2	0-5	5-10	10-15	tr	0-5	0-5	5-10	5-10	5
Hornblenda	5-10	5-10	-	tr	-	-	-	-	-	-	-	-
Moscovita-sericita	-	-	tr	0-5	-	-	tr	tr	0-5	0-5	tr	pr
Titanita	3	2	-	-	tr	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	pr	-	tr	tr	-	tr	tr	-	tr	-	tr	tr
Estaurolita	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatita	pr	pr	tr	tr	-	tr	-	-	-	tr	-	-
Epídoto	-	pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tr
Fluorita	-	-	-	tr	-	tr	-	-	-	-	-	-
Allanita	pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opacos	pr	pr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Carbonatos	-	pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Denominação Petrográfica	hornblenda- biotita- gnaíse	hornblenda- biotita- gnaíse	gnaíse bandado	quartzito feldspático (neossoma)	granitóide embrechítico	granitóide embrechítico	granoblastito	granitóide orientado	milonito recristalizado	milonito recristalizado	granito cinza	granito cinza

OBS: 1) Valores correspondem a porcentagens em volume;
pr - presente; tr - traços

TABELA 1 - Composição mineralógica estimada das rochas dos morros de Santos e São Vicente (Carneiro et al. 1979).

elevações ou nas encostas mais abruptas. Apresenta megacristais alongados, de forma elipsoidal, formados por microclina branca a rosa, e circundados por uma matriz orientada, cinzenta, gnáissica, de granulação média a grossa. A composição mineralógica abrange microclina microperitítica e peritítica, quartzo, oligoclásio e biotita como minerais essenciais (Tabela 1), e texturas do tipo porfiroblástica, granoblástica e gnáissica. Os porfiroblastos variam em quantidade, tamanho e forma, atingindo até 3cm de eixo maior. A característica que distingue esta unidade litológica de uma associação normal de migmatitos é a natureza intrusiva de várias porções de seus contatos com as unidades anteriores.

. Granito Santos (ys)

Essa unidade constitui a porção SW dos Morros, sendo formada basicamente por um grande corpo. Esse maciço caracteriza-se por apresentar a maior parte das áreas da cota 150 m, devido a sua resistência aos processos erosivos. Os solos nessa unidade são pouco espessos, sendo comuns exposições rochosas extensas. Esta rocha possui coloração bege a rósea, estrutura maciça e granulação fina a média. Os minerais essenciais são microclina microperitítica, quartzo e oligoclásio (Tabela 1). A textura característica é a granular hipidiomórfica.

2.4 Compartimentação Morfológica

Pires Neto et al. (1979) apresentam para os morros de Santos e São Vicente uma compartimentação nas seguintes principais formas:

- alvéolos ou planícies alveolares (depressões semifechadas constituídas por espessuras variáveis de sedimentos, estando sua superfície entre as cotas 70 e 100 m acima do nível do mar);
- encostas voltadas para as planícies alveolares;

- encostas voltadas para a planície costeira.

Para o presente trabalho as encostas voltadas para as planícies costeiras representam maior interesse devido ao fato de serem as áreas onde ocorrem o maior número de escorregamento. Estas encostas podem apresentar-se com drenagem pouco definidas e perpendiculares a sua maior declividade, ou então como feições semicirculares com padrão de drenagem convergente bem definido.

Com relação ao perfil da encosta, "são constituídos por porções com características geométricas definidas (Figura 3), denominadas de unidades morfológicas geométricas (Young, A., 1972), classificados em:

- retílineas - quando a porção do perfil da encosta tem seus ângulos aproximadamente constantes;
- convexas - no caso de uma porção do perfil da encosta apresentar curvatura positiva com ângulos que aumentam continuamente para baixo em relação à horizontal;
- côncavas - quando a porção do perfil da encosta apresenta curvatura negativa com ângulos decrescentes para baixo.

No perfil da encosta o limite dessas unidades é marcado por linhas de ruptura de declive, que em função da variação do gradiente da encosta podem ser:

- positivas - quando marcam um aumento do gradiente da encosta com relação à unidade precedente;
- negativas - quando assinalam diminuição do gradiente da encosta com relação à unidade precedente" (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a).

Pires Neto et al. (1979), distinguem nos perfis das encostas dos morros de Santos e São Vicente, as seguintes características das unidades morfológicas geométricas:

FIGURA 3 - Unidades morfológicas geométricas do perfil da encosta (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a).

- convexas, localizadas no topo das elevações, apresentando declividades menores que 20° e espessuras consideráveis de solo;
- retilíneas, localizadas abaixo das anteriores, apresentando maiores declividades (entre 30° e 40°), menores espessuras de solo e localmente exposições rochosas.

O limite entre essas unidades, caracterizado pela ruptura da declividade da encosta, pode ser nítida ou gradual, dependendo das características próprias do local.

2.5 Principais tipos de solo

Os solos que ocorrem nos morros podem ser geneticamente classificados utilizando-se os aspectos principais: condições de formação ("in situ" ou transportado) e maturidade (estágio de evolução do material).

Desta forma distinguem-se genericamente nos morros de Santos e São Vicente, os seguintes principais tipos de solo:

. Solo superficial (SS)

Material que ocorre próximo à superfície em espessura de cerca de 1 m, formado "in situ", ou com pequeno transporte de cotas mais elevadas em movimentos lentos. Corresponde basicamente aos horizontes A e B pedológico, ou seja, horizontes submetidos a processos pedogenéticos. Não apresenta nenhum tipo de estrutura da rocha matriz, sendo predominantemente constituído ou pela fração argila ou pela areia. Pode eventualmente apresentar matacões.

. Solo de alteração (SA)

Material proveniente da alteração da rocha matriz, apresentando geralmente espessuras de até 5 m. Correspondente ao horizonte C pedológico, isto é, sem interferência dos processos pedogenéticos. Geralmente apresenta alguns minerais primários facilmente alteráveis (feldspatos, mica, etc.) e estruturas residuais, tais como xistossidade, fraturas, veios, etc. A granulometria é variável em função da composição mineralógica da rocha e da maturidade de solo, predominando, entretanto, a fração areia.

. Solos transportados (tālus)

Material que sofreu transporte (coluvionar) de cotas mais elevadas, acumulando-se ou na base de anfitea

tros naturais ou na base das encostas, e que atualmente configura uma superfície suave. Possui contorno definido e espessura entre poucos e uma dezena de metros. É constituído por uma matriz variando entre as frações argila e areia, que envolve matacões de dimensões centimétricas e métricas. Não apresenta nenhum tipo de estrutura e caracteriza-se pela disposição caótica dos materiais presentes. Devido à intensidade dos processos pedogenéticos que atuam na região, foi desenvolvida sobre esse material uma capa de solo superficial.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados de caracterização geotécnica dos solos dos morros.

2.6 Aspectos climáticos regionais

Na região da baixada santista o clima é litorâneo, de transição tropical para subtropical (Koppen), temperatura média de 22° e pluviosidade média anual de 2421 mm (obtida no período de 1941 a 1980).

O regime pluviométrico (Figura 4) caracteriza-se por períodos bem definidos de chuvas no verão (janeiro, fevereiro e março), e de baixa pluviosidade no inverno (junho e julho).

Pode-se notar, através da Figura 5, que as precipitações pluviométricas anuais no período 1941-1980 apresentaram uma variação significativa, denotando-se uma associação de fato, entre os principais episódios de chuvas com os eventos mais significativos de escorregamento nos morros de Santos e São Vicente.

Guidicini e Iwasa (1976) estabeleceram uma relação entre pluviosidade acumulada desde os meses de julho, e escorregamentos na área da baixada santista, a partir de 15 episódios de chuva mais significativos (entre 1928 a 1973). Este estudo resultou na elaboração da Tabela 3,

AMOSTRA	TIPO DE SOLO	CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA	LOCAL	PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM (m)	CARACTERIZAÇÃO TÁCTIL VISUAL	LIMITES DE ATTERBERG			δ (g/cm ³)	GRANULOMETRIA (ABNT)						CLASSIFICAÇÃO (USC)
						LL (%)	LP (%)	IP (%)		ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA GROSSA (%)	PEDREGULHOS (%)	
1	SS	MIGMATITO DE PALEOSSOMA DOMINANTE (PEMq)	CANELEIRA	0,60	ARGILA ARENOSA; MUITAS RAÍZES; COR AMARELA COM MANCHAS MARRONS	71	32	39	2,69	50	7	27	14	2	0	CH
2	SA		CACHOEIRA	1,50	AREIA SILTOSA; COM MICA; COR MARROM.	NP	NP	—	2,64	9	20	51	16	2	0	SM
3	SA		NOVA CINTRA	2,00	AREIA SILTOSA, POUCO ARGILOSA; COM MUITA MICA, COR AMARELA.	NP	NP	—	2,72	15	28	51	5	0	1	SM
4	SA		NOVA CINTRA	3,50	AREIA SILTOSA, POUCO ARGILOSA; COM MICA E CAULIM; COM RAÍZES; COR MARROM.	65	48	17	2,79	16	34	44	6	0	0	MH
5	SS	GRANÍTICO EMBRECHTICO	MARAPE	2,00	AREIA ARGILOSA, POUCO SILTOSA; COM RAÍZES; COR AMARELA.	69	35	34	2,65	36	10	18	34	2	0	SM
6	SA	(PET ₀)	JABAQUARA	1,00	AREIA; COM RAÍZES; COR AMARELA.	NP	NP	—	2,69	2	5	20	48	18	7	SM
7	SS	GRANITO SANTOS (T ₀)	SANTA TEREZINHA	0,50	AREIA ARGILOSA; COR AMARELA.	62	26	36	2,66	25	4	21	45	4	1	SC
8	SS		JOSE MENINO	1,00	AREIA POUCO ARGILOSA, COM RAÍZES; COR AMARELA.	48	26	22	2,65	17	8	14	51	6	4	SC
9	SA		ITARARÉ	2,00	AREIA, COM RAÍZES, COR MARROM CLARO.	NP	NP	—	2,66	6	6	26	57	5	0	SM
10	SS	MIGMATITO ESTROMATÍTICO (PEM ₀)	MONTESERRAT	0,80	AREIA ARGILOSA, POUCO SILTOSA, COR MARROM.	43	28	15	2,66	24	16	42	16	2	0	SM
11	SA		SÃO BENTO	1,00	AREIA, POUCO SILTOSA, POUCO ARGILOSA; COR MARROM.	NP	NP	—	2,67	11	15	45	28	1	0	SM
12	SA		MONTESERRAT	2,00	AREIA, POUCO SILTOSA; COR MARROM.	NP	NP	—	2,66	5	11	40	36	8	0	SM
13	SA		PACHECO	2,50	AREIA, POUCO SILTOSA; COR MARROM.	NP	NP	—	2,67	5	14	58	23	0	0	SM
14	ALUVIÃO	SEDIMENTOS ALUVIONÁRIOS (Q ₀)	NOVA CINTRA	0,20	ARGILA ARENOSA; COR CINZA CLARO.	82	29	53	2,65	58	7	22	13	0	0	CH
15	ALUVIÃO		NOVA CINTRA	0,25	AREIA POUCO ARGILOSA; COR CINZA E AMARELA.	44	27	17	2,64	17	8	22	41	9	3	SC
16	ALUVIÃO		SANTA MARIA	0,30	AREIA ARGILOSA, SILTOSA; COR CINZA.	65	43	22	2,53	24	23	13	36	2	2	SM

TIPO DE SOLO { SS - SOLO SUPERFICIAL
SA - SOLO DE ALTERAÇÃO

TABELA 2 - Resultados dos ensaios de laboratório em solos e da caracterização de campo (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a).

FIGURA 4 - Médias mensais das precipitações pluviométricas no período de 1941-1980 - Posto Pluviométrico de Sabão - Prefixo E3-210.

que foi complementada com os dados de 1978 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a) e de 1979 (resultados do presente trabalho), onde se verifica a associação de es corregramentos catastróficos com episódios de chuva superior a 300 mm.

A partir desses estudos Guidicini e Iwasa (op.cit.) concluíram para as diversas regiões enfocadas que:

- quando ocorrem episódios de chuva (períodos de 24 a 72 horas) superiores a 12% da pluviosidade média anual

FIGURA 5 - Precipitações pluviométricas anuais no período 1941-1980. Posto Pluviométrico do Sa-
boão - Prefixo E3-210.

DATA DO EPISÓDIO	REGISTRO PLUVIOMÉTRICO	JULHO + AGOSTO + SETEMBRO	PLUVIOSIDADE DOS MESES ANTERIORES								TOTAL ATÉ A DATA	OBSERVAÇÕES
			OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.		
10 março 1928	23 mm em 24 h	436	167	131	231	586	534	200			2285	-
10 março 1940	177 mm em 24 h	254	25	184	207	268	277	34			1249	-
18 abril 1941	186 mm em 24 h	226	192	157	262	181	258	490	102		1868	-
18 fev. 1942	320 mm em 24 h	391	137	239	227	180	87				1261	-
27 fev. 1944	179 mm em 24 h	445	330	106	120	265	484				1750	-
24 mai. 1952	196 mm em 24 h	181	247	161	175	353	332	324	81	70	1924	-
19 março 1956	224 mm em 24 h	284	111	163	250	103	424				1335	* 120 mm em 3:30 h
24 março 1956	373 mm em 24 h	284	111	163	250	103	424	712			2048	* 250 mm em 10 h
23/24 mar. 1958	326 mm em 48 h	559	318	199	91	209	129	222			1727	*
16 fev. 1959	227 mm em 24 h	401	452	132	373	201	363				1922	*
10 jan. 1966	177 mm em 24 h	441	257	154	479	42					1373	-
22/23 dez. 1966	421 mm em 48 h	441	344	243	143						1171	*
23 fev. 1970	190 mm em 24 h	304	300	430	266	430	310				2040	*
24/25 fev. 1971	295 mm em 24 h	326	174	150	167	255	171				1243	*
20 dez. 1973	206 mm em 24 h	653	189	306	140						1288	-
16 jan. 1978	218 mm em 5 h	496	175	189	262	93					1215	*
10 mar. 1978	248 mm em 24 h	496	175	189	262	350	308	418			2226	*
16 dez. 1979	264 mm em 48 h	498	160	421	541						1474	*

* Houve escorregamentos
- Não há registro de escorregamentos.

(Dados tirados do posto Pluviométrico do Sabão (E3 - 210) pertencente a Light, instalado em 19 de janeiro de 1909).

TABELA 3 - Relação dos episódios de chuva e escorregamentos na Baía Santa (Guidicini e Iwasa, 1976; modificada).

(aproximadamente 280 mm para o posto Sabão) poderá conduzir o meio ao grau de saturação crítico e desencadear fenômenos de instabilização;

- nos episódios de chuva compreendido entre 8 e 12% (aproximadamente 190 e 280 mm para o posto Sabão) quando antecidos de elevado histórico de pluviosidade, o solo poderá atingir o grau de saturação crítico, e provocar os escorregamentos. Caso este episódio não seja precedido de pluviosidade elevada, não deveriam ocorrer escorregamentos;
- quando não ocorrem em períodos citados precipitações acima de 8%, o grau de saturação atingido não será suficiente para desencadear os processos.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1978a) chega ao consenso para os morros de Santos e São Vicente, de que, para episódios de baixa pluviosidade e antecedentes também de pequena pluviosidade, os escorregamentos que ocorrem são decorrentes da interferência humana, que é intensa na área.

2.7 Classificação e definições dos movimentos de massa

2.7.1 Critérios adotados

Para melhor compreender os escorregamentos, foi adotada neste trabalho uma classificação dos movimentos de massa que melhor caracterizasse os processos atuantes nos morros. Entende-se por movimento de massa os fenômenos que envolvem as rochas e solos, independente da sua velocidade, dimensões, superfície de ruptura, etc.

De maneira geral, pode-se encontrar na natureza uma grande variedade de movimentos de massas, que estão associados a diversos fatores como: litologia, estrutura da rocha, clima, vegetação, formas de relevo, etc. Em consequência dessa variedade, muitas classificações dos movimentos de massa têm sido propostas, tanto com caráter mais abrangente, como de caráter regional. No entanto, um determinado escorregamento pode ser sempre incluído, por simplificação, a um dos três grandes gru

pos proposto por Sharpe (1938): quedas, escorregamentos e fluxo.

Guidicini e Nieble (1976) relacionam de maneira sintética as principais classificações nacionais e internacionais, desde 1875. Das classificações apresentadas especificamente para os fenômenos ocorridos no Brasil pode-se citar a proposta por Freire (1965), de caráter mais geral que sintetiza várias classificações internacionais, aplicando-a a casos brasileiros e as de Vargas et al. (1956), Vargas (1966) e Costa Nunes (1969) estas de caráter regional em áreas pré-cambrianas.

Para este trabalho adotou-se como base a classificação utilizada pelo Highway Research Board Landslide Committee, apresentada por Varnes (1958) e que foi considerada como a mais adequada para o meio físico estudado. Deve-se ressaltar, entretanto, para alguns tipos de movimento de massa proposto por Varner, o forte condicionante litológico, em que sobressai o comportamento das rochas sedimentares. Este fator foi levado em consideração no presente trabalho, motivo pelo qual adotou-se a citada classificação de forma simplificada (Tabela 4). Houve ainda a necessidade de conceituar um outro processo, o rastejo, considerado como movimento de massa, e de grande importância, por encontrar-se em estreita relação com os escorregamentos de maior interesse neste trabalho. Deve-se ressaltar também a existência de escorregamentos peculiares, que apesar de constatados e estudados na área não possuem interesse neste trabalho por traduzirem comportamento estritamente locais.

A classificação adotada (Tabela 4) originalmente baseia-se no tipo de material envolvido, que pode ser identificado no campo, e no tipo de movimento, determinado pela forma da cicatriz e pela condição dos materiais mobilizados. Associa também o intervalo de velocidade em que deve ocorrer cada um destes processos (Tabela 5).

TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO	
1 Quedas (<i>Falls</i>)	Queda de blocos (<i>rock fall</i>)		
2 Escorregamentos (<i>slides</i>) · materiais pouco deforma- dos durante o processo.		Escorregamento segundo estruturas (<i>block glide</i>)	Escorregamento rotacional (<i>slump earth flow</i>)
· materiais muito deforma- dos durante o processo	Escorregamento translacional de rocha (<i>rock slides</i>)	Escorregamento translacional do solo (pode envolver blocos de rocha imersos) (<i>debris slides</i>)	
3 Fluxos (<i>flows</i>)	ROCHA E SOLO		
	Avalancha de detritos (<i>debris avalanche</i>) Fluxo de detritos (<i>debris flow</i>)		

TABELA 4 - Terminologia utilizada para movimentos de massa nos morros de Santos e São Vicente (Varnes, 1958; modificada).

TABELA 5 - Escala de velocidade para movimentos de massa (Varnes, 1958).

As definições propostas por Varnes (1958) são apresentadas a seguir, complementadas com a experiência do presente autor em trabalhos desenvolvidos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

2.7.2 Queda de bloco

É um fenômeno comum em encostas rochosas íngremes, onde o material mobilizado cai predominantemente por queda livre. Esse movimento pode ser combinado com saltos, rolamentos, e impacto entre blocos mobilizados ou com a própria encosta. Destes movimentos resulta uma fragmenta

ção dos blocos que é proporcional ao percurso dos materiais. Esses movimentos são muito rápidos e extremamente rápidos (Tabela 5) e podem ser ou não precedidos por um movimento menor. As quedas de blocos ocorrem pela ação das variações térmicas nas rochas, por perda de apoio de blocos causada pela ação erosiva da água, por processo de desconfinamento lateral de maciços rochosos decorrentes de linhas de entalhe recentes, por alívio de tensões de origem tectônica, por vibrações, por pressão hidrostática ao longo de fraturas verticais, por ação de raízes, etc., ou então por composição desses processos. Esse processo nos morros de Santos e São Vicente associa-se principalmente à pressão hidrostática e à presença de material argiloso nas descontinuidades da rocha. Esses fatores, quando atuantes em fraturas posicionadas desfavoravelmente à estabilidade do maciço, tendem a acentuar a ocorrência desse fenômeno. Esse fenômeno é mais comum no granito Santos (ys) e ocorre secundariamente nos granitóides embrechíticos (Peyo).

2.7.3 Escorregamento

Os escorregamentos propriamente ditos são movimentos causados por cisalhamento ao longo de uma ou mais superfícies, as quais são visíveis ou podem ser razoavelmente inferidas. Pode-se distinguir dois subgrupos, de acordo com a mecânica dos movimentos. O primeiro corresponde àqueles onde a massa mobilizada é pouco deformada, incluindo escorregamento rotacional e escorregamento segundo estruturas residuais (Tabela 4). Esses tipos caracterizam-se por apresentarem uma ou várias unidades mobilizadas, as quais geralmente possuem pequeno deslocamento. Esses movimentos podem ser controlados estruturalmente por superfícies de fraqueza e, dependendo da geometria do talude, o material pode avançar além da superfície de ruptura, dependendo da inclinação da superfície na

tural. O segundo subgrupo corresponde àqueles em que a massa mobilizada é muito deformada ou constituída por muitas unidades pequenas, incluindo respectivamente o escorregamento translacional de solo e escorregamento translacional de rocha (Tabela 4). Caracterizam-se por apresentarem completa independência entre as unidades mobilizadas. No caso da deformação e desintegração serem contínuas, principalmente em função do aumento da velocidade ou do conteúdo de água, ou ambos, este tipo passa para fluxo. Na natureza encontra-se toda a gradação entre esses dois tipos.

Escorregamento rotacional

Esse processo é comum em solos aparentemente homogêneos (solo superficial), razoavelmente espessos, sem interferência preponderante de estruturas da rocha matriz e desenvolvendo-se através de uma superfície côncova. Quando tem ocorrência restrita apresenta-se com forma de uma colher, e quando se estende lateralmente passa a ter uma forma cilíndrica. Esse fenômeno muitas vezes apresenta-se com uma superfície mista circular-plana, sendo esta última forma decorrente de superfícies de fraqueza do maciço. Geralmente o início da parte superior da cictriz toma o aspecto de uma parede vertical. Dependendo da pluviosidade, de surgências de água e da intensidade de trincas presentes no material inicialmente mobilizado no processo, poderá haver a continuidade de movimento da parte frontal da massa, passando a um fluxo. Geralmente esse fenômeno possui velocidade moderada, a não ser quando as condições acima citadas (passagem para fluxo) acentua o movimento. Nos morros esse fenômeno pode ser considerado como de rara ocorrência.

Escorregamentos em solo segundo estruturas residuais

Esse processo é comum em solo de alteração ou na transição solo-rocha. Estas estruturas funcionam como planos de fraqueza e definem a massa mobilizada, que pode ter uma ou várias unidades. Dependendo da condição geométrica do talude, o material pode ultrapassar os limites da cicatriz, depositando-se a jusante na superfície do terreno natural. Esse processo pode ser combinado com ou outros tipos, sendo entretanto identificado como tal em função da predominância do tipo de superfície de ruptura. Nos morros a sua ocorrência pode ser considerada rara. Esse fenômeno possui velocidade lenta a extremamente rápida.

Escorregamento translacional em rocha

Esse processo é mais comum nos horizontes rochosos e dá-se ao longo de planos de fraqueza pré-existents. Essas superfícies de movimentação são geralmente um reflexo da estrutura geológica e podem constituir-se, de um modo geral, em planos de estratificação, xistosidade, fraturas diversas, contatos litológicos, etc. O movimento se origina em planos, mergulhando para fora do talude cuja continuidade tenha sido interrompida, isto é, a condição de equilíbrio alterada. Para o caso específico de rochas estratificadas, com acamamento regular, Zaruba e Mencl (1969) consideram que o mergulho das camadas é a inclinação máxima na qual o talude é estável. Quando essas camadas forem interceptadas, ou por erosão ou por escavação, sua estabilidade será suportada apenas pelo atrito ao longo desses planos e será tanto maior quanto mais irregular esses planos. O atrito, porém, é reduzido por fatores climáticos, pressões hidrostáticas da água nas juntas e avanço do processo de alteração. Tais escor

regamentos são típicos de áreas montanhosas, e devido a sua velocidade lenta a extremamente rápida podem adquirir caráter catastrófico. Nos morros foi constatada a ocorrência desse processo em 1956 no Morro Santa Terezinha (granito Santos), onde foi mobilizado grande volume de rocha sã. Pode ser considerado de rara ocorrência, mas devido ao seu caráter catastrófico é de grande importância.

Escorregamento translacional em solo

Esse processo ocorre geralmente no solo superficial, envolvendo ou não o solo de alteração da rocha. Esses escorregamentos são freqüentemente limitados por um contato entre tipos de materiais diferentes onde é característica uma superfície de descontinuidade (solo superficial - solo de alteração, ou solo superficial - horizonte rochoso). O movimento ocorre em áreas reduzidas em relação ao correspondente em rocha, possui velocidade variável de muito baixa a rápida, e grande poder de destruição. Com o aumento do teor de água no solo, ou com o aumento da velocidade, esse processo passa a avalanche de detrito. Nos morros esse processo ocorre de forma generalizada, em várias dimensões, sendo comum a sua gradação até avalanche de detrito.

Outros escorregamentos

Além dos escorregamentos acima mencionados, ocorrem ainda dois outros tipos, peculiares aos morros, de expressão menor dentro dos movimentos de massa, mas pertinentes a este trabalho. São eles: escorregamentos associados a colapso da estrutura de contenção e escorregamentos em depósitos de lixo. O primeiro tem como causa a drenagem e/ou as fundações da obra inadequadas. O segundo tem ocorrência restrita a áreas habitadas, e apesar de envolverem pequenos volumes, podem ter sérias

conseqüências, por ocorrerem em áreas densamente ocupadas. As causas principais são a fácil saturação do lixo e a sua localização em áreas fortemente inclinadas (não apropriadas à ocupação). Associada aos "lixões" encontra-se grande quantidade de ratos, que propiciam afofamento do lixo e do solo superficial, facilitando a penetração da água, e desta maneira agravando a já precária estabilidade do conjunto lixo-solo superficial.

2.7.4 Fluxos

Nos fluxos o movimento da massa caracteriza-se por apresentar formas e velocidade de mobilização semelhantes a um fluido viscoso. Os materiais sujeitos a esse tipo de movimento são variáveis, consistindo de blocos de rocha e materiais finos, geralmente misturados. Convém ressaltar as transições entre vários processos de fluxos, dependendo do teor de água (Tabela 4); em especial, para este trabalho, a gradação escorregamento translacional em solo - avalanche de detritos - fluxo de detritos.

Avalanche de detritos

Nestes processos a mobilização é mais rápida e a massa toda, por encontrar-se bastante saturada ou em taludes abruptos, flui encosta abaixo, através dos talvegues, avançando além do pé do talude. Avalanchas de detritos são geralmente alongadas e estreitas e freqüentemente deixam uma cicatriz irregular na encosta toda.

Fluxo de detritos

Também chamado fluxo de lama ("mud flows") em outras classificações são aqui distinguidas em função do tamanho das partículas do material. O termo fluxo de detritos aqui utilizado significa material com alta porcentagem de fragmentos grossos, enquanto o termo fluxo

de lama é reservado para materiais com, no mínimo, 50 % de areia, silte e argila. O fluxo de detritos quase sempre associa-se a chuvas intensas, ocorrendo frequentemente durante escoamento superficial torrencial após "tromba d'água". Uma vez em movimento, a pequena corrente de água com material sólido terá poder de transporte proporcional ao seu tamanho, que é aumentado à medida que avança descendentemente. Esses fluxos seguem por caminhos de drenagem pré-existentes, incorporando árvores e mato e removendo quase tudo que se encontra na sua trajetória. Tais fluxos são de alta densidade, talvez 60% a 70% de sólido em peso, podendo arrastar blocos do tamanho de automóveis. O fluxo pode atingir vários quilômetros de trajetória, através inclusive de terrenos com pequeno gradiente. Nos morros não se tem conhecimento desse processo, apesar de constituir-se na extremidade da gradação escorregamento translacional em solo-avalancha de detritos-fluxo de detritos.

2.7.5 Rastejo

Rastejo são movimentos lentos e contínuos de material de encostas. Podem envolver grandes massas de solo, tais como as encostas de uma região serrana, sem que haja uma distinção entre materiais mobilizados e estacionados (Guidicini e Nieble, 1976). Pode ocorrer também de forma restrita, em áreas de depósitos detríticos, rastejo em tálus, apresentando neste caso mecanismos diferentes. No 1º caso, o movimento é provocado pela ação da gravidade, intervindo porém os efeitos devido às variações de temperatura e umidade. O fenômeno de expansão e contração da massa, por variação térmica, traduz-se em movimento, encosta abaixo, numa espessura proporcional à atingida pela variação de temperatura. Este processo foi denominado por Terzaghi (1953) de rastejo periódico ou sazonal. Quando este processo for consequente apenas

da ação da gravidade, sem participação de outros agentes, ocorre a movimentação constante, definido pelo mesmo au tor. No 2º caso o movimento está associado basicamente a condições de saturação do próprio material, ou então às interferências antrópicas (cortes, aterros, etc.) sobre o corpo de tálus que interferem no seu já precário equi líbrio.

2.8 Os agentes e as causas dos movimentos de massa

O desenvolvimento de um movimento de massa, confor me visto anteriormente, pode ocorrer de forma lenta ou extremamente rápida (Tabela 5). Essa variação decorre de uma série de agentes, incluindo desde as características próprias do material até a intensidade da chuva no momen to da ocorrência do processo.

Deve-se então, para melhor entendimento desses pro cessos, ordenar os agentes responsáveis dentro de uma es cala temporal. Deve-se ainda diferenciar as causas, que representam o modo de atuação de determinado agente. Res alta-se que o agente pode expressar-se por meio de uma ou várias causas.

Com relação aos agentes, Guidicini e Nieble (1976) propõem a distinção em predisponentes e afetivos, adotando para este último a subdivisão em preparatórios e ime diatos.

Segundo estes autores denominam-se agentes predispo nentes ao conjunto daquelas condições que representam o "pano de fundo" para a ação que será desfechada. Trata-se de um conjunto de características intrínsecas do meio físico natural. Para a área tipo estes agentes podem ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico e com plexo hidrológico-climático.

O complexo geológico-geomorfológico caracteriza-se pela peculiaridade geológica na área, definindo o compor

tamento das rochas ocorrentes, onde temos o tipo do perfil e espessura de solo, em função da maior ou menor resistência da rocha quanto ao intemperismo.

O complexo climático-hidrológico caracteriza-se basicamente pelos padrões de precipitação anual e oscilação térmica, estando de uma maneira geral relacionado ao intemperismo químico e físico. Fatores como condições de insolação, ciclo das estações, padrões de movimentações de massa de ar, também podem ser incluídas dentro deste complexo, desde que sejam encarados no seu aspecto mais geral.

Ainda como agentes predisponentes pode-se citar a gravidade e, quando existe, a vegetal original.

Denominam-se agentes efetivos ao conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa. Podem ser distinguidos em agentes efetivos preparatórios (pluviosidade, erosão pela água, variação da temperatura e umidade, oscilação dos níveis de saturação do solo, ação do vento, desmatamento, mutilações no terreno, etc.) e imediatos (chuva intensa, vibrações, etc.).

Com relação às causas deve-se reportar resumidamente a definição de Terzaghi (1953), que distingue entre: externas (que provocam um aumento das tensões cisalhantes, sem que haja ao mesmo tempo um aumento de resistência ao cisalhamento do material); internas (aquelas que provocam o fenômeno sem que haja modificações das condições superficiais, isto é, que resultam na diminuição da resistência interna do material); e intermediárias (que resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude).

2.9 Principais episódios de escorregamentos nos Morros de Santos e São Vicente

Os escorregamentos nesses morros constituem um dos mecanismos naturais atuais de evolução de suas encostas

e ocorrem geralmente durante as precipitações intensas das estações chuvosas, que representam o elemento desencadeador do processo. Estão associados também às condições próprias do maciço, que funcionam geralmente como delimitadores da área mobilizada.

Vários autores citados anteriormente no item 1.4 abordaram os escorregamentos nesses morros, além de extensas coberturas jornalísticas, principalmente locais, não referenciadas neste trabalho.

Os primeiros registros de escorregamento nos morros de Santos e São Vicente datam de 10 de março de 1928, ocorrido no Monte Serrat e envolvendo $50\,000\text{ m}^3$ de solo. Nessa ocasião foram destruídas várias casas e parte da antiga Santa Casa de Misericórdia, causando 80 vítimas fatais. As precipitações de janeiro e fevereiro foram de 586 mm e 534 mm, respectivamente, e no mês de março até o episódio catastrófico, de 200 mm.

Em 1956, com a precipitação de elevados índices pluviométricos, ocorreram 2 episódios de escorregamentos, no dia 19 para 2 de março e de 24 para 25 de março, registrando-se chuvas de 103 mm em janeiro, 424 mm em fevereiro e 712 mm em março, até o segundo episódio. O primeiro, no dia 19 de março de 1956, atingiu vários locais, sendo o principal no Morro Santa Terezinha que envolveu um grande volume de rochas e destruiu várias casas, vitimando fatalmente 21 pessoas. Em 24 de março, constituindo o segundo episódio, ocorreu o escorregamento do Morro de Caneleira, que envolveu $13\,000\text{ m}^3$ de solo e rocha (Vargas et al. 1956b), obstruindo a ligação São Vicente - Via Anchieta. Nesse dia ocorreu outro grande escorregamento no Monte Serrat, ao lado daquele de 1928, envolvendo desta vez $10\,000\text{ m}^3$, que avançou até uma distância de 100 m da base da encosta. Ocorreu também nesse mesmo dia outro grande escorregamento, envolvendo 1500 m^3 de material, no Morro do Marapé, que destruiu 7 residências e vitimou fatalmente 20 pessoas.

Segundo Pichler (1957), na noite de 24 de março a precipitação de 250 mm em 10 h precedeu cerca de 65 escorregamentos na área desses morros.

Em 1959 e 1966 também foram registrados escorregamentos associados a precipitações elevadas e destruição de casas, não sendo obtidos dados mais concretos sobre o episódio.

Em 1978, nos dias 15 de janeiro e 10 de março, ocorreram de forma generalizada escorregamentos em todos os morros, registrando-se várias casas destruídas e 4 vítimas fatais. Nesta ocasião foram realizados estudos sistemáticos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1978a).

Finalmente em 1979, no dia 16 de dezembro, novo episódio foi registrado, causando a destruição de várias casas e 11 vítimas fatais. Este episódio foi estudado de detalhadamente no presente trabalho, e será discutido no item seguinte.

Os índices pluviométricos aqui apresentados referem-se ao pluviômetro do Sabão (E3-210) pertencentes à antiga Light, instalado em 19 de janeiro de 1909 na área dos morros de Santos e São Vicente. Esses dados são apresentados de forma mais completa na Tabela 3, no item 2.6.

2.10 Os Escorregamentos Ocorridos em 1979

O cadastramento destes escorregamentos foi efetuado tendo em vista compor este trabalho, ora apresentado, pelo fato de tratar-se de mais um evento significativo na evolução desses Morros. Este cadastramento foi antecedido por uma análise bibliográfica da área de tal forma a permitir uma visualização mais ampla dos principais condicionantes dos escorregamentos.

Estes escorregamentos ocorreram no dia 16 de dezembro de 1979, durante um período de 48 horas, onde foram

registrados 264 mm/chuva, com um total de precipitação de julho até a data de ocorrência de 1474 mm/chuva (Tabela 3).

Os tipos de escorregamentos considerados neste trabalho foram codificados na Tabela 6 que é uma simplificação da classificação apresentada no item 2.7.

SIMBOLOGIA	TIPO DE MOVIMENTO
Q	queda de blocos
E ₁	Escorregamento rotacional
E ₂	Escorregamento em solo, segundo estruturas residuais
E ₃	Escorregamento translacional de rocha
E ₄	Escorregamento translacional de solo
E ₅	Escorregamento associado a colapsos de estruturas de contenção
E ₆	Escorregamento em depósito de lixo
F ₁	Avalancha de detritos
F ₂	Fluxo de detrito
R	Rastojo

TABELA 6 - Representação da simbologia dos movimentos de massa na região dos morros de Santos e São Vicente.

A metodologia utilizada para o cadastramento propriamente, foi estabelecida tendo em vista obter-se o maior número de dados qualitativos e quantitativo que permitissem avaliar o tipo, dimensões, condições em que o fenômeno ocorreu e suas consequências. Para este trabalho foi efetuado um levantamento de campo individual para cada ocorrência, sendo os dados registrados conforme modelo apresentado na Tabela 7. A Tabela 8 apresenta os resultados deste levantamento.

A metodologia adotada no estudo deste episódio de escorregamento permitiu estabelecer correlações importantes entre os fenômenos e as situações em que ocorrem. A

IDENTIFICAÇÃO		Nº 01	
PROJETO: Análise dos mecanismos dos escorregamentos nos morros de Santos. LOCALIZAÇÃO: Morro de Nova Cintra, próximo à subida pelo Jabaquara.		DATA DO LEVANTAMENTO: 01/04/80 FOTOS: Diversas	
HISTÓRICO			
DATA DA OCORRÊNCIA: 16/12/79		INFORMANTES: Elementos da Sociedade Amigos do Morro.	
CONSEQUÊNCIAS: Destruição de 4 casas, várias dependências e 10 mortes (3 adultos e 7 crianças). Interdição do acesso a Nova Cintra. Volume estimado de material mobilizado: 120 m ³ .			
ANTECEDENTES DO LOCAL: Foram observadas algumas cicatrizes que poderiam ter sido de outro escorregamento. Entretanto, não há registros históricos.			
CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO LOCAL			
GEOLOGIA E GEOTECNIA DO SUBSTRATO: - Migmatito oftalmítico - Bloco de rocha alterada e afloramentos de rocha sã. - Rocha pouco fraturada.		FORMAÇÕES SUPERFICIAIS: Solo superficial bastante poroso, argilo arenoso, marrom. Espessura variando de 0,5 a 1,0 m Localmente inexistente solo. Com presença de afloramentos rochosos.	
MORFOLOGIA: Encosta retilínea fortemente inclinada.		OCUPAÇÃO/ÁGUA: Adjacente ao escorregamento não existe ocupação, nem surgência d'água. A vegetação é arbustiva e rasteira, encontrando na cabeceira do escorregamento uma plantação de bambu.	
TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA/INTERPRETAÇÃO Escorregamento translacional de solo envolvendo o solo superficial, deixando à mostra rocha alterada ou eventualmente sã. Ocorreu na ruptura de declive imediatamente abaixo da plantação de bambu, existindo uma tendência de alargamento de escorregamento no sentido descendente. O material mobilizado foi blocos de rocha e solo superficial.			
DADOS GEOMÉTRICOS GERAIS		COTA DO TOPO: 145	COTA DA BASE: 60
EXTENSÃO AFETADA: 100 m	LARGURA: 7 m	FORMA: Alongada	

TABELA 7 - Elemento utilizado para o cadastramento dos movimentos de massa (Escorregamento nº 01 da Tabela 10).

Nº	LOCALIZAÇÃO	LITOLOGIA (1)	UNIDADE GEOMORFOLOGICA GEOMETRICA	TIPO DE FORMAÇÃO SUPERFICIAL (2)	INCLINA- ÇÃO DA ENCOSTA	OCUPAÇÃO DA ÁREA	ESCORREGAMENTO			PRINCIPAIS CONDICIONANTES		DANOS	OBSERVAÇÕES
							TIPO (3)	VOLUME MOBILIZADO (m)	DATA	NATURAIS	ARTIFICIAIS		
01	Morro de No va Cintra	Pe y o	Retilínia (ruptura de clive)	SS-0,5-1,0m	> 40°	vegetação ras teira; casas a jusante	E4/F	120	16/12/79	forte inclinação	-	10 mortes, 4 casas destruí das	Em fotos de 1978 foi identificada pequena mobilização adjacente ao escorregamento
02	Morro de No va Cintra	Pe y o	Retilínia (afloramento)	Inexistente	Localmen- te Subverti- cal	vegetação na- tural; casas a jusante	Q	2	06/04/80	forte inclinação; fraturas	-	interdição parcial do aces- so	Trata-se de uma encosta retilínia que lo- calmente apresenta um afloramento rocho- so subvertical
03	Morro do Ja baquara	Pe y o	Retilínia (ruptura de clive)	SS-1,5 a 2,0m SA + blocos	> 40°	a montante ca- sa e água ser- vida	E4/F	5	16/12/79	forte inclinação	-	-	Remobilização do escorregamento de 78
04	Morro do Ja baquara	Pe y o	Retilínia	Aterro + SS + SA = 1,5m	> 40°	acesso a mon- tante; casas a jusante	E4/F	10	16/12/79	-	concentração e transborda- mento de água do acesso à montante	destruiu uma escada de pe- destre	
05	Morro do Ja baquara	Pe y o	Retilínia	Aterro + SS + SA = 1,5m	30-40°	acesso a mon- tante; casas a jusante	E4/F	10	16/12/79	-	concentração e transborda- mento de água do acesso à montante	destruição parcial de uma casa	
06	Morro do Bufo	Pe y o	Retilínia	SA+blocos	> 40°	Casas a mon- tante; acesso a jusante	E5	-	16/12/79	-	concentração de água e rup- tura de obra de contenção	destruição parcial de 4 ca- sas e parte de um muro	0 motivo principal foi a escavação e construção inadequada de um muro de arri- mo.
07	Morro da Boa Vista X Morro Pe- nha	Pe y o	Retilínia	SS	> 40°	casas a mon- tante	E4/F	-	16/12/79	-	concentração de água servi- da e pluvial	atingiu os fundos de uma casa	
08	Morro do Pacheco	Pe y o	Retilínia	SS - 1m SA - 3m	> 40°	casas a mon- tante e a ju- sante	E4/F	60	16/12/79	forte inclinação	-	1 morte, 1 casa destruída	
09	Morro do Pacheco	Pe y d	Retilínia	SS - 1m SA	> 40°	vegetação	E4/F	15	16/12/79	forte inclinação	-	-	
10	Morro do Pacheco	Pe Me	Divisor de á- gua principal	SS(orgânico) 0,5 A1 A2	> 40°	casas a direi- ta e a jusan- te	Q	40	16/12/79	fraturas verticais	-	morte de 26 porcos e destrui- ção dos fundos de 2 casas	Trata-se de uma encosta convexa que local- mente apresenta um afloramento rochoso - vertical
11	Vila São Bento	Pe Me	Aterro	Aterro e SS	30° a 40°	acesso a mon- tante casa a jusante	E4/F	15	16/12/79	-	concentração de água plu- vial	destruiu parcialmente 1 ca- sa	
12	Morro Santa Terezinha	y s	Convexa	Inexistente	> 40°	casas a jusan- te	Q	25	16/12/79	fraturas e forte incli- nação	-	atingiu os fundos de duas casas	
13	Morro São Jorge	Pe y o	Retilínia	A3 (antiga á- rea de emprés- timo)	> 40°	vegetação na- tural a mon- tante	Q/E2	50	16/12/79	fraturas e forte incli- nação	-	-	Área de recorrência

NOTA:

(1) Litologia

Pe Mg - Migmatito de paleossoma dominante
 Pe Me - Migmatito estromatítico
 Pe Yo - Granito com megacristais orientados
 Ys - Granito Santos

(2) Tipo de formação Superficial

SS - Solo Superficial
 SA - Solo de Alteração
 A3 - Rocha muito alterada ou transição solo-rocha
 A2 - Rocha parcialmente alterada
 A1 - Rocha sã

(3) Tipo de Escorregamento

(Vide tabela 6 no texto)

TABELA 8 - Características dos escorregamentos ocorridos em dezembro de 1979 (o nº 2 ocorreu em abril de 1980).

utilização de um estudo mais amplo, de caráter regional veio facilitar o entendimento do comportamento dos diversos tipos de encostas e dos diferentes tipos litológicos (incluindo aqui os seus respectivos solos).

A ausência de dados mais concretos do comportamento hidrológico das encostas estudadas, foi sentida, apesar de um estudo de caráter mais próximo do regional como este que foi realizado, não comportaria no presente trabalho. Entretanto sugere-se para futuros trabalhos deste tipo, definir trechos de encostas para estabelecer através de instrumentos simples, o comportamento da água nas zonas terrosas do maciço.

2.11 Análise de 2 episódios de escorregamentos (1978 e 1979)

Conforme já salientado anteriormente os morros de Santos e São Vicente possuem atualmente um mecanismo de evolução de seu relevo - os movimentos de massa. Esses fenômenos, que ocorrem quase que anualmente nas épocas chuvosas, têm, de tempo em tempo, marcado mais acentuadamente as suas encostas, como em 1928 e 1956. Dentre os sabidamente mais importantes, ressalta-se nestes eventos o aspecto catastrófico para a população, e os grandes volumes do material mobilizados. Apesar disso, foram poucos os trabalhos técnicos específicos sobre o assunto, e já mencionados no item 1.4.

Desta forma, é feita neste trabalho uma análise e comparação de dois episódios de escorregamentos em que foram efetuados levantamentos mais sistemáticos visando detectar principalmente a tipologia mais comum desses escorregamentos.

Os episódios analisados foram o ocorrido em 1979, que foi objeto do presente trabalho (Tabela 8), e o ocorrido em 1978, estudado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, resumidamente apresentado nas Tabelas 9 e 10.

Nº	LOCALIZAÇÃO	LITOLOGIA (1)	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA GEOMÉTRICA	TIPO DE FORMAÇÃO SUPERFICIAL (2) (espessura em m)	INCLINAÇÃO DA ENCOSTA	OCUPAÇÃO NA ÁREA	ESCORREGAMENTO		PRINCIPAIS CONDICIONANTES		DANOS	OBSERVAÇÕES
							TIPO (3)	DATA	NATURAIS	ARTIFICIAIS (**)		
01	Morro Sta Terezinha	Y _s	Retilínea	SA 3,00	30°-40°	loteamento; mata natural	E ₄ /F	—	forte inclinação; erosão intensa	sistema de drenagem obstruído pelo material do bota fora da estrada.	—	Problemática a ocupação de jusante, sendo necessária a prevenção contra erosão.
02	Estrada de Interligação (acesso do Marapé)	Y _s	Convexa	SS 0,50 SA 5,00 Talus 2,00	30°-20° (= 20°)	estrada a jusante, poucas casas e bananeiras a montante	E ₁ /E ₂	10/03	fraturamento residual	corte na base para alargamento da estrada	obstrução da estrada, destruição de 2 muros de contenção	Em 1956 a montante deste local houve grande ruptura em que os materiais chegaram a entulhar o canal localizado na baixada.
03	Estrada de Interligação (acesso do Marapé)	Y _s	Retilínea	SA 2,00-3,00 A ₃ (blocos e solos) 7,00	30°-40°	vegetação rasteira, acesso e casas a jusante.	—	10/03	—	corte na base para alargamento da estrada	interrupção parcial da estrada	—
04	Estrada de Interligação (acesso do Marapé)	P e Y ₀	Retilínea	SS 5,00	30°-40°	casas a montante; muro de contenção no local do escorregamento, acesso a jusante.	E ₅	10/03	—	queda de estrutura de contenção	destruição parcial do muro de contenção e uma casa, interrupção parcial do acesso	—
05	Morro do Marapé	P e Y ₀	Convexa	SS 0,50 SA 2,00-3,00 (*)	40°-30°	casas a montante e lateralmente ao escorregamento	E ₅	15/01	—	Colapso de estrutura de contenção	—	Águas servidas na região escorregada, casas na área com estabilidade precária; recorrência do fenômeno.
06	Morro do Marapé	P e Y ₀	Retilínea	SA e blocos (A ₃ +A ₂) 2,00 (*)	30°-40°	bananeiras e mata	E ₄ /F	10/03	infiltração d'água; erosão; ação de raízes	—	—	Surgência d'água a meia encosta; pequena espessura envolvida (1,00 a 1,50) com grande quantidade de blocos pequenos.
07	Acesso ao Morro de Nova Cintra pelo Jabaquara	P e Mg	Retilínea	SS 0,10-0,20 SA 1,00-2,00	> 40°	casas a montante	E ₄ /F	15/01	forte inclinação	desvio e concentração de águas pluviais; mutações	destruição de um chafiz, interdição do acesso a jusante	Zona mutilada devido a duas residências existentes no local; área sujeita sempre a pequenos escorregamentos; canalizações d'água na crista do escorregamento.
08	Morro do Jabaquara	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,10-0,50 SA 2,00-3,00	> 40° (40°-30°)	casas e sítios	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	desvio e concentração de águas pluviais e servidas no topo	destruição parcial de uma casa e de um sítio a meia encosta	Grande parte do material permaneceu no corpo de escorregamento.
09	Morro do Jabaquara	P e Mg	Retilínea	SS 0,20-0,30 SA 4,00-5,00 (*)	> 40°	algumas bananeiras no corno do escorregamento, casas a montante	E ₄ /F/E ₂	10/03	forte inclinação	—	—	Escorregamentos frequentes na área (1956/59/63/66/73) talus a jusante do escorregamento, fendas de tração na interface escorregamento/talus.
10	Morro de São Bento	P e Mg	Retilínea	SS 1,00 SA 3,00 (*)	20°-30°	bananeiras e capim; estrada de acesso a Embraetel	E ₄ /F	10/03	—	água pluvial que transbordou da estrada.	ruptura parcial da plataforma da estrada	Lixo na cobertura do escorregamento
11	Acesso ao Largo São Bento pelo Jabaquara	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,20 SA 1,00 A ₃ 2,00 (*)	> 40°	casas a montante e jusante, a meia encosta, bananeiras e capim	E ₄ /F	10/03	forte inclinação (subvertical)	corte na base feito anteriormente (1959)	uma casa atingida sem grandes danos	Já ocorreram escorregamentos em 1956/59/66
12	Acesso ao Largo São Bento pelo Jabaquara	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,10 A ₂ +A ₁ 3,00 (*)	> 40°	casas a montante e jusante, na meia encosta, bananeiras e capim	Q	10/03	forte inclinação	—	—	Existiam trincas nos blocos e SA desde 1959, observava-se grande quantidade de blocos movimentados e basculados no topo do escorregamento.
13	Morro Bufo X Morro São Bento, abaixo do acesso do Largo São Bento	P e Mg	Retilínea	SS 0,20-0,40 SA 3,00-4,00 (*)	> 40°	acesso a montante, bananeiras no escorregamento; casas a jusante	E ₄ /F	—	forte inclinação	corte na base; concentração de água da rua; lixo	destruição total de uma casa e parcial de outra	"Lixão" a montante do escorregamento
14	Morro do Bufo, acima do acesso do Lgo São Bento	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,10 SA 1,00	> 40°	casas a montante e acesso na base	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	interrupção parcial do acesso	Recorrência do fenômeno; sistema de drenagem precário, mureta na base.
15	Acesso ao Morro São Bento (Morro do Bufo)	P e Mg	Retilínea	SS 0,20 SA 6,00	> 40°	algumas bananeiras e capim, casas a jusante	E ₄ /F	—	forte inclinação	instabilização na base por corte	—	—
16	Acesso ao Morro São Bento (Morro do Bufo)	P e Mg	Retilínea	SS 0,50 SA 2,00	30°-40°	bananeiras, casa a jusante	E ₄ /F/E ₅	15/01 10/03	—	colapso de estrutura de contenção devido a concentração água pluvial	uma casa parcialmente atingida	Recorrência do fenômeno
17	Morro do Fontana	P e Mg	Convexa	SS 0,20 SA 1,00-2,00 (c/pequenos blocos)	> 40°	bananeiras, bambus, vegetação secundária remanescente e casa a montante e jusante	E ₄ /F	15/01 10/03	—	saturação do material lançada na encosta	assoreamento da drenagem local	Recorrência do fenômeno
18	Monte Serrat (lateralmente ao emboque do túnel)	P e Mg	Retilínea	SS 0,10 SA 3,00 A ₃ 3,00	> 40°	casas a jusante	E ₂	10/03	—	talude artificial, fortemente inclinado (= 60°)	moradia coletiva atingida	—
19	Monte Serrat	P e Mg	Retilínea	SS 0,10 SA 1,50 A ₃	> 40°	sítio com bananeiras	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	muros de pedra parcialmente atingidos e destruídos	Surgência d'água na parte superior do escorregamento.
20	Monte Serrat (Light)	P e Y ₀ /P e Mg	Retilínea	SS 1,50 SA 1,00 (no topo) A ₃ + A ₂	> 40°	mata natural e bananeiras, na parte inferior; prédios da Light na base da encosta	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	assoreamento nos prédios da Light e da rua. Destruição do sistema de drenagem	Não existe surgência; sistema de drenagem a meia encosta, grande volume de material no corpo do escorregamento.
21	Monte Serrat (acima da casa de transporte de Santos)	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,20 SA 3,00 (A ₁) na base	> 40°	mata natural	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	—	Surgência de bastante água no contato solo de alteração/rocha sã.
22	Monte Serrat (encosta voltada para Av. Ana Costa)	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,20 SA 3,00 (c/blocos)	> 40°	mata natural	E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	—	Lateralmente ocorreram mais dois escorregamentos com as mesmas características.
23	Monte Serrat (frente Comendador Martins)	P e Y ₀	Convexa	A ₂ SA (pouco)	30°-20° > 40°	mata natural	Q	—	forte inclinação	—	—	Área submetida a retirada do material.
24	Monte Serrat (acima da rua Tiro Naval)	P e Y ₀	Retilínea	SS 0,20 SA 3,00 (c/blocos)	> 40°	casas a jusante; capim e bananeiras	E ₁ /E ₄ /F	10/03	forte inclinação	—	nao chegou a atingir nenhuma casa devido ao pequeno volume envolvido	Recorrência do fenômeno em menor escala
25	Acesso ao Santuário do Monte Serrat	P e Y ₀	Retilínea	SS 2,00 SA 1,00 (*)	> 40°	prédios da SEREL a jusante; chiqueiro e acesso a montante	E ₁	10/03	forte inclinação	desvio e concentração águas pluviais	danos no almoxarifado da SEREL	Recorrência do fenômeno

(1) Litologia

P₂Mg - Migmatito de paleossoma dominanteP₂Me - Migmatito estromatolíticoP₂Yo - Granito com menacristais orientados (granitóide)Y_s - Granito Santos

(2) Tipo de formação superficial

SS - Solo superficial

SA - Solo de alteração

A₃ - Rocha muito alterada ou transição solo-rochaA₂ - Rocha parcialmente alteradaA₁ - Rocha sã

(3) Tipo de escorregamento

(vide Tabela 6 no texto)

Observações gerais

* espessura observada

** a retirada da cobertura vegetal é uma condicionante praticamente geral.

TABELA 9 - Características dos escorregamentos 01 a 25 ocorridos em janeiro e março de 1978.

(Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978a; modificada)

Nº	LOCALIZAÇÃO	LITOLOGIA (1)	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA GEOMÉTRICA	TIPO DE FORMAÇÃO SUPERFICIAL (2)	INCLINAÇÃO DA ENCOSTA	OCUPAÇÃO NA ÁREA	ESCORREGAMENTO		PRINCIPAIS CONDICIONANTES		DANOS	OBSERVAÇÕES
							TIPO (3)	DATA	NATURAIS	ARTIFICIAIS (**)		
26	Monte Serrat	—	Retilínea	—	> 40°	depósito de lixo	E6	—	—	saturação rápida, conseqüente aumento de peso e ruptura	—	Parte do lixo permaneceu no local.
27	Monte Serrat (próximo ao topo)	PcY0	Retilínea	SS 0,50 SA 3,00(*)	> 40°	casas adireita do escorregamento, bananeiras; bambus; presença de lixo	E4/F	10/03	forte inclinação	pequeno aterro precário e lixo	—	—
28	Monte Serrat (FIAT)	PcMe	Retilínea	SA + blocos 2,00 rocha aflorante	> 40°	instalação da "FIAT" a jusante	Q	15/01	forte inclinação	—	atingiu o pátio da FIAT	Recorrência do fenômeno, surgência d'água em fraturas da rocha
29	Monte Serrat (abaixo ao antigo cassino)	PcY0	Retilínea	SA 2,00	> 40°	bananeiras e bambuzal no sopé do escorregamento, casa a jusante	E4/F	—	—	—	—	—
30	Morro do Fontana (ao lado acesso ao Morro S. Bento)	PcMe	Retilínea	aterro 3,00 SA	> 40° (30°-40°)	antiga Sta Casa, acesso, muros de contenção.	E5	10/03	—	saturação do material do aterro devido o rompimento do sistema de drenagem de montante	rompimento do muro de contenção	Água servida do lado esquerdo do escorregamento; água da drenagem da cortina atirantada. A montante os demais muros encontram-se instáveis.
31	Morro do Fontana	PcY0	Convexa	SS 1,00 SA 1,50	> 40°	poucas bananeiras, bambus; capim; poucas casas; maior ocupação residencial a montante	E4/F	15/01 10/03	forte inclinação, concentração de lixo (0,50m) localizada superficialmente	—	—	Recorrência do fenômeno, concentração de água pluvial e servida, fio de água na raiz.
32	Morro do Belmiro	PcY0	Retilínea	SS 0,20-0,30 SA 4,00-5,00	40°-30° > 40°	casas, bananeiras e capim	E2	10/03	fraturas residuais, forte inclinação	—	—	Recorrência do fenômeno, região de drenagem natural. A jusante existe um corpo de talus em movimentação lenta (rastejo).
33	Morro do Pacheco	PcMe/PcY0	Convexa	SS 0,30 SA 2,00-3,00 A3	> 40°	casas a montante, capim e bananeiras na encosta	E4/F	15/01	região de drenagem natural	concentração de água da casa a montante	—	Estão sendo contruídas casas no local.
34	Morro da Boa Vista	—	Retilínea	—	> 40°	depósito de lixo	E6	—	—	saturação rápida, conseqüente aumento de peso e ruptura	—	Parte do depósito de lixo permaneceu no local.
35	Morro da Boa Vista Penha	PcY0	Retilínea	SS 1,00 SA 2,00	> 40°	casa a jusante, bananeira e bambuzal	E4/F	—	forte inclinação	—	—	Recorrência do fenômeno.
36	Morro da Penha	PcY0	Retilínea	—	30°-40°	depósito de lixo	E6	—	—	saturação rápida, conseqüente aumento de peso e ruptura	—	Parte do depósito de lixo permaneceu no local.
37	Morro da Nova Cintra	PcY0	Retilínea	SS 0,50 SA 1,00	30°-40°	casas a montante com canaletas de drenagem com revestimento e bananeiras	E4/F	15/01	—	corte para residência	destruição de uma residência, parcial de duas e quatro vítimas fatais	Possibilidade de reativação do material a montante.
38	Morro da Nova Cintra	PcY0	Convexa	SA 4,00-5,00	30°-40° 20°-30°	explorada anteriormente como área de empréstimo	erosões generalizadas	—	forte inclinação	ação prolongada da água devido aos descuidos de exploração	uma vítima fatal em escorregamento anterior	Exploração indiscriminada favorecendo a ação da água pluvial, que provoca intensa erosão e conseqüente assoreamento a jusante da área.
39	Morro de Sta Maria	PcY0	Retilínea	SS 0,50 SA	> 40°	bananeiras	E4/F	15/01 10/03	erosão, forte inclinação	—	destruição de bananeiras	Recorrência do fenômeno, drenagem no eixo do escorregamento.
40	Morro da Caneleira	PcY0	Retilínea	SS 0,50 SA 1,00 A2	> 40°	pouca vegetação natural; bananeiras; casas no sopé	E4/F	10/03	forte inclinação	—	—	Antiga área de empréstimo, sem vestígios de água, encosta desabitada.
41	Morro São Jorge (próximo ao engenho dos Erasmos)	PcY0	Retilínea	SS 0,50 SA 2,00-3,00 (com matações)	40°-30° > 40°	sítio, capim	E4/F	janeiro	forte inclinação	—	—	Recorrência do fenômeno, presença de água na base, área a jusante, já foi utilizada como área de empréstimo.
42	Morro do Voturuã	Y5	Convexa	SA 0,50 (rocha aflorante)	40°-30°	vegetação arbustiva, bambus	E4/F	janeiro-março	forte inclinação	—	—	Sem antecedentes, filetes de água sobre a encosta rochosa, a esquerda existe escorregamento de mesmas proporções.
43	Morro do Voturuã	Y5	Zona de Pedreira	rocha aflorante	> 40° (20°-30° 20°)	pedreiras em exploração e abandonada	Q	janeiro-março	fraturas da rocha	associado a fogo	—	Área de exploração de rocha.
44	Morro do Voturuã (ao lado do Clube Itararé)	Y5	Convexa	A3/A2	> 40°	casas no sopé, vegetação natural	Q/E2	janeiro	fraturas, forte inclinação	—	—	Sem antecedentes, presença de filete de água, material permaneceu na encosta.
45	Morro do Voturuã (acima do Clube Itararé)	Y5	Convexa	A3/A2	> 40°	casas no sopé, vegetação natural na encosta	Q/E2	janeiro	fraturas, forte inclinação	—	destruição do Clube Itararé existente no sopé da encosta	Já houve queda de blocos, com destruição parcial do clube, presença de água no escorregamento.

(1) Litologia

PcMg - Migmatito de paleossoma dominante

PcMe - Migmatito estromatítico

PcY0 - Granito com megacristais orientados (granitóide)

Y5 - Granito Santos

(2) Tipo de formação superficial

SS - Solo superficial

SA - Solo de alteração

A3 - Rocha muito alterada ou transição solo-rocha

A2 - Rocha parcialmente alterada

A1 - Rocha sã

(3) Tipo de escorregamento

(vide Tabela 6 no texto)

Observações gerais

* espessura observada

** a retirada da cobertura vegetal é uma condicionante praticamente geral.

TABELA 10 - Características dos escorregamentos 26 a 45 ocorridos em janeiro e março de 1978
(Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978 a; modificada).

A importância desta análise está no fato de que existe nesse meio físico uma preponderância de movimento de massa que caracteriza um processo atual de evolução de encosta. Muito embora o meio físico abordado no presente trabalho constitua área de pequena extensão, ele pode ser perfeitamente correlacionado com as escarpas da Serra do Mar, importante província geomorfológica e sempre desafiadora no que se refere à sua transposição e ocupação. Convém ainda ressaltar nesta correlação os aspectos de ocupação e cobertura vegetação que nos morros estudados apresentam-se bastante peculiares.

Essa análise efetuada baseou-se nas características do meio físico, ou seja, tipo de escorregamento, litologia, unidade da encosta e inclinação. Não se levou em consideração o índice pluviométrico, pois supôs-se que a área considerada esteve sujeita à mesma precipitação pluviométrica em cada um dos dois eventos. Entretanto, é importante afirmar que ambos os eventos estão diretamente associados a episódios de chuvas intensas, assinalados em 248 mm nas 24 h e 264 mm das 48 h que antecederam os escorregamentos de 10-03-78 e 16-12-79, respectivamente (Tabela 3). Ressalte-se ainda que o período de precipitação foi obtido através de pluviômetro do Saboô (E3-210), o que não permite definir com melhor precipitação o tempo dessas precipitações.

A Tabela 11 resume esses dados, de onde pode-se distinguir a grande predominância dos escorregamentos translacionais em solo, da ordem de 54% e 61% nos eventos de 1978 e 1979, respectivamente. Conclui-se também a partir desta análise que os escorregamentos, de uma maneira geral, têm maior incidência nos granitóides embrechíticos (Peyo), nas unidades morfológicas geométricas retilíneas em uma posição logo abaixo do sistema de declive e em áreas com inclinação superior a 40°. Entretanto, convém

		Evento 1978		Evento de 1979	
		nº de ocorrência	%	nº de ocorrência	%
Tipo de escorregamento	R ₁	3	6	3	23
	R ₂	1	2	-	
	R ₃	27	54	8	61
	R ₄	2	4	-	
	R ₅	2	4	-	
	R ₆	3	6	1	8
	R ₇	3	6	-	
	R ₈	-	2	-	
	Erosões	1	14	-	
	Mistos	7	2	1	8
	Não diferenciado	1			
TOTAL		50	100	13	100

		nº de ocorrência	%	nº de ocorrência	%
Litologia	Pe X o	25	50	10	77
	Pe Me	4	8	2	15
	Pe Mg	9	18	-	
	X s	7	14	1	8
	Não identificado	3	6		
	Mistos	2	4		
TOTAL		50	100	13	100

		nº de ocorrência	%	nº de ocorrência	%
Unidade de encosta	Retilínea	38	76	10	77
	Convexa	10	20	2	15
	Outros	1 (zona de pe dreira)	2	1	8
	Não identificado	1	2	-	
TOTAL		50	100	13	100

		nº de ocorrência	%	nº de ocorrência	%
Inclinação (considerado apenas o primeiro, a raiz do escorregamento)	< 20	-	-	-	-
	20 - 30	12	6	-	-
	30 - 40	12	24	2	15
	> 40	34	68	11	85
	Não identificado	1	2	-	
TOTAL		50	100	13	100

TABELA 11 - Síntese geral dos escorregamentos ocorridos nos eventos de 1978 e 1979.

lembrar que tanto os granitóides como as encostas retilíneas distribuem-se em maior proporção nas encostas dos morros. No caso específico das litologias, os granitóides ocupam cerca de 43% da área total dos morros e a grande parte das encostas voltadas para a planície costeira.

A Figura 6 apresenta a localização dos escorregamentos ocorridos nos episódios de 1979 e 1978, os quais são identificados individualmente nas Tabelas 8, 9 e 10. São assinalados também (neste caso de forma aproximada) os escorregamentos ocorridos em 1956.

2.12 Conclusões

Pode-se destacar como conclusões desta primeira parte deste trabalho que:

- a todos os eventos de escorregamentos associa-se episódios de chuva intensa dentro de históricos pluviométricos particulares (Tabela 3);
- a cada unidade morfológica geométrica do perfil da encosta corresponde um tipo de fenômeno diferente;
- existem determinados pontos do perfil da encosta onde a ocorrência de escorregamento é mais comum; esses pontos representam, dentro do perfil, as maiores inclinações e situam-se imediatamente abaixo da ruptura de clive;
- verificou-se uma associação dos escorregamentos com um determinado tipo litológico.

LEGENDA

- Cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em dezembro de 1979
- Cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em janeiro e março de 1978
- Cicatrizes dos escorregamentos ocorridos em 1956 (delimitação aproximada)
- Vias de tráfego (avenidas, ruas ou estradas)
- Divisa não oficial dos morros
- Divisa dos municípios de Santos e S. Vicente
- Curvas de nível (de 25m em 25m)
- Limite entre os morros e a baixada
- Área de estudo
- Afloramento rochoso
- Frente de exploração de pedreira

Figura 6 - LOCALIZAÇÃO DOS ESCORREGAMENTOS OCORRIDOS EM 1979, 1978 e 1956

3 ESTUDO DE UM ESCORREGAMENTO

3.1 Considerações Preliminares

Nesta 2.^a parte são apresentados os resultados dos estudos realizados no presente trabalho, sobre um dos escorregamentos ocorridos no evento de 1979 e anteriormente analisado nos seus aspectos gerais. Na primeira parte abordou-se os escorregamentos na sua forma global, associando-os as diversas condições do meio físico estudado, enquanto que nesta 2.^a parte pretendeu-se, a partir de um levantamento detalhado, efetuado neste trabalho, e que se inicia na encosta onde ocorreu o fenômeno aqui designado por área tipo, estabelecer algumas conclusões sobre a sua evolução. Em seguida são apresentados os levantamentos efetuados no próprio escorregamento e discutidas as conclusões básicas sobre o fenômeno.

A área escolhida além de conter o principal escorregamento do episódio de 1979, apresentava todas as características citadas nas conclusões da 1.^a parte (item 2.12), que teoricamente sugerem as situações de instabilidade.

A metodologia utilizada nesta 2.^a parte foi semelhante aquela adotada na 1.^a parte deste trabalho, e se caracterizou por priorizar o estudo de campo tanto da área tipo como do próprio escorregamento. Posteriormente para fundamentar teoricamente a análise do fenômeno é efetuado o cálculo de estabilidade, através de métodos de retroanálise.

3.2 Características geomorfológicas da área tipo

A área escolhida situa-se a montante do acesso a Nova Cintra pelo Morro do Jabaquara, e possui aproximadamente 82 000 m². As Fotos 1 e 2 e as Figuras 1 e 7 mostram essa área e a sua situação no âmbito dos morros.

A área é constituída predominantemente por uma parte da encosta voltada para a planície costeira e secundária

FOTO 1 - Par estereoscópico mostrando a área de estudo e adjacências. Notar o estágio de ocupação da encosta acima da estrada (1962).

FOTO 2 - Vista aérea da área de estudo (1972)

LEGENDA

ELEMENTOS TOPOGRÁFICOS

- Perfil X X' representativo de uma encosta característica da área tipo
 Curva de nível de 1m em 1m
 Casas
 Acessos
 Delimitação de vegetação: M - Mato
 m - Macieira
 BAN - Bananeiras
 59,349 Ponto de campo
 92,9 Ponto de aparelho

ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

- Ruptura de declive positiva
 Ruptura de declive negativa
 RETILÍNEA Unidade geométrica retilínea
 CONVEXA Unidade geométrica convexa

ELEMENTOS GEOLÓGICOS

- PEYO Granito com Megacristais Orientados (granitóide embrechítico)
 PEMg Migmatito de Paleossoma Dominante
 Solos transportados (talus)
 Contato litológico aproximado
 Afloramento rochoso

Figura 7 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA TIPO

0 10 20 30m
ESCALA

mente por uma pequena parte da encosta voltada para a planície de Nova Cintra.

Com relação ao seu perfil, foi efetuado neste trabalho a caracterização nas encostas de duas unidades morfológicas geométricas, conforme critérios estabelecidos no item 2.4. Na Figura 7 é apresentada essa subdivisão, que é definida abaixo:

- . convexa, correspondendo predominantemente ao topo das encostas e à parte basal da encosta voltada para a planície costeira;
- . retilínea, correspondendo praticamente a toda parte média superior da encosta marginal;

Essas subdivisões são importantes, pois definem os limites do desenvolvimento dos diversos fenômenos que ocorrem na área. Entretanto, a ocorrência de escorregamentos está diretamente associada, além dessas linhas gerais da encosta, às particularidades próprias de cada perfil, tais como, pequenas e descontínuas rupturas de relevos, locais de concentração natural de águas pluviais, zonas de talvegues incipientes, etc.

3.3 Características geológico-geotécnicas

Foi diferenciada na área três tipos litológicos baseados no item 2.3 deste trabalho: os granitóides embrechíticos, os migmatitos e paleossoma dominante e os depósitos detríticos (tálus).

Com relação aos escorregamentos, tem-se como ocorrência de maior importância os granitóides, pois sustentam as encostas mais instáveis na área. As espessuras de solos nas encostas, a oeste da área, variam de 2 a 3 m para o solo superficial, enquanto que para o solo de alteração constatou-se desde a sua inexistência até 2 m. Tais observações foram realizadas em cortes existentes no local, resultantes da ação antrópica. À medida que se

caminha na encosta, de oeste para este, as espessuras de solos diminuem, com tendências ao aparecimento de afloramentos rochosos localizados e posteriormente generalizando-se como grandes exposições rochosas que predominam na encosta.

3.4 Características das interferências antrópicas

De uma maneira geral foi adotado para o presente trabalho três graus de interferência antrópica na área (foto*2):

- uma área ocupada por residências e acessos, de topografia mais suave, localizada a jusante da ruptura de declive negativa. Essa área teve pouco interesse para os atuais estudos, sendo incluída para permitir o entendimento fenomenológico global;
- uma área em processo de ocupação por residências e cortadas por pequenos caminhos para pedestres, localizada acima da ruptura de declive na parte sudoeste;
- uma área praticamente sem ocupação, que teve a sua cobertura vegetal original parcialmente removida e em alguns poucos pontos substituída por cultivo de bananas situado na parte norte-noroeste.

3.5 Esboço das evidências dos fenômenos

Como resultado dos estudos da área escolhida, foi elaborado no presente trabalho como esboço que caracterizou as prováveis evidências que pudessem conduzir a ocorrência de escorregamentos.

Com o objetivo de identificar essas evidências, foi realizado um levantamento de campo na área específica, através de 7 perfis perpendiculares à encosta, indicados na Figura 8. Esses perfis foram distribuídos de maneira a fornecer uma representatividade da área estudada, sendo descritivamente apresentados a seguir.

LEGENDA

• SS = 2,0
SA > 1,0

Local onde foi observado uma espessura de 2m de solo superficial sobre 1m de solo de alteração. Não foi observado o contato inferior do solo de alteração

• SS > 3

Solo superficial com espessura observada de 3m

Perfil CD representativo de uma área da encosta

Área representada pelo perfil EF

Perfil XX' representativo de uma encosta característica da área tipo

Limites da zona IIA

Cicatriz de escorregamento

Figura 8 - FENOMENOLOGIA DA ÁREA TIPO.

. Perfil AB

Correspondente à parte da encosta do tipo convexa com ruptura de declive relativamente suave. Inicia-se no topo sobre o granitóide e termina próximo ao contato translacional com o migmatito de paleossoma dominante. É um local em processo de ocupação e com interferência antrópica (cortes para plataforma e para pequenos acessos). Possui espessuras de solo superficial entre 2 a 3 m e solo de alteração entre 1 e 2 metros (espessura mínima), nos locais observados. Nota-se em um ponto do mapeamento, através da exposição de um perfil de solo, um contato brusco entre o granitóide (superior) e o migmatito de paleossoma dominante (inferior) onde pode-se perceber nitidamente uma maior evolução do perfil de solo no segundo material. Podem-se notar nas adjacências deste perfil vários escorregamentos de pequenas dimensões (5 m x 5 m), mas em consequência dos cortes existentes no local.

. Perfil CD

Nas imediações deste perfil, principalmente à esquerda e abaixo, a superfície apresenta-se bastante irregular, consequência de cicatrizes antigas de escorregamentos. Estas são decorrentes, na maioria das vezes, dos cortes existentes no local. Foram observadas aqui pequenas aberturas (10 cm) com mergulho sub-horizontal em direção à encosta e pequena profundidade observada (30 cm). Tais aberturas estão relacionadas a pequenos degraus (alturas entre 0,1 m e 0,5 m) distribuídos por toda a encosta. Essas aberturas diminuem nas épocas de chuvas, permanecendo, entretanto, como descontinuidades do solo e condicionando movimentos de água subverticais no solo superficial. Injeções de água efetuadas em junho/80 nessas aberturas, perderam-se no interior do solo.

. Perfil EF

Neste perfil é marcante a ruptura de declive positiva na parte superior da encosta. Em toda a extensão, adjacente a este perfil, observamos degraus em dimensões diversas indicando um movimento generalizado da encosta. Nota-se ainda o aparecimento de blocos de rocha sã ou alterada (diâmetros de 0,5 m a 1,5 m) sobre a superfície, encontrando-se eventualmente descalçados na sua base. Nesse perfil foi constatado um bloco de rocha "in situ" envolvido pelo solo superficial com vestígios dos cristais de feldspatos do granitóides, de cor avermelhada (Figura 9). A presença desse bloco dá origem a um degrau de aproximadamente ~ 1 m de altura. Essa condição específica da encosta chama a atenção por ter sido observado ainda um processo de erosão na base e a jusante do bloco, que uma vez descalçado poderá vir a provocar a instabilização da massa a montante.

. Perfil GH

Corresponde ao perfil coincidente com a cicatriz do escorregamento e deverá ser abordado em detalhe mais adiante do item

. Perfil IJ

Aqui começam a aparecer afloramentos mais contínuos na encosta com extensões laterais superiores a 10 m, principalmente na parte inferior do perfil. Não se observam irregularidades na superfície, apresentando-se entretanto, com uma ruptura de declive bastante acentuada. Imediatamente abaixo dessa ruptura de declive positiva foi constatado um afloramento rochoso com 3 m de altura.

.FIGURA 9 - Detalhe encontrado no perfil EF. Observe-se a condição particular de instabilidade da encosta.

. Perfil LM

Aqui temos também uma ruptura de declive bastante acentuada e uma inclinação média da encosta de 35° , superior às anteriores. Na parte inferior deste perfil inicia-se um afloramento rochoso com cerca de 60 m de altura e inclinação de cerca de 60° . É intensa a presença de afloramentos localizados neste perfil, assim como é grande o número de blocos de rochas ($\varnothing$ 0,2 m a 1,5 m) dispostos caoticamente na encosta.

Notam-se superficialmente indícios de rastejo através de inclinação de árvores novas. Pela presença de extensos depósitos de tálus na base, conclui-se que houve nesse local escorregamento de grande proporção.

3.6 Compartimentação da área tipo

Em função dos levantamentos efetuados neste trabalho pode-se dividir a área em quatro zonas distintas I, IIA, IIB e III, de acordo com as suas particularidades e que são representadas pelos perfis da Figura 10.

Na Tabela 12, na página seguinte, é feita uma comparação dessas zonas em função das características mais significativas.

Essas zonas possuem os seus limites representados na Figura 8, porém na natureza as características mudam gradualmente. Os elementos que subsidiam esses limites são os divisores de água em vias de formação que podem ser transitórios em função da evolução da encosta.

Dentro da área como um todo o que mais chama a atenção são características do tipo: forma da encosta, depósitos de base e presença de solo e/ou afloramento de rocha.

Sob o ponto de vista fenomenológico as 4 zonas foram identificadas:

Zona I - praticamente sem evidências de mobilização, a não ser aquela conseqüente de erosão ou então movimentos provocados artificialmente;

Zona II A - sujeita a escorregamentos provocados artificialmente. Em função da constatação do fenômeno de rastejo esta zona é menos estável que a anterior;

Zona II B - sujeita a escorregamentos naturais (Foto 3);

CARACTERÍSTICA	I	IIA	IIB	III
espessura do solo superficial e solo de alteração.	pode atingir mais que 4 m	atê 4 m.	atê 2 m.	não foi observada; estimativa de 0,5 - 1,0 m.
presença de afloramentos de rocha (naturais).	nenhuma	nenhuma	poucos e localizados	intensos e localizados. extensos e generalizados.
presença de blocos	nenhuma	nenhuma	poucas	intensas
contato solo-rocha	gradual (?) (não observado)	gradual	gradual/nítido	tendendo a nítido
ruptura de declive positiva	suave	transição suave-abrupta	abrupta	abrupta
inclinação média da encosta	25-30°	35°	35-42°	45°
altura da encosta (entre rupturas de declive)	menor (60 m)	70 m	média (80 m)	maior (90 m)
presença evidente de rastejo (degraus)	não observada	intensa	intensa	observada através apenas de árvores inclinadas.
fenômenos esperados na encosta.	erosão	escorregamentos devido a condicionantes artificiais (cortes, acessos, etc.)	escorregamentos naturais	queda de blocos

TABELA 12 - Características das zonas que compõem a área tipo.

Figura 10 - REPRESENTAÇÃO POR PERFIS DAS ZONAS I, II A, II B e III

FOTO 3 - Aspecto da zona IIB da área tipo antes de ocorrer o escorregamento. A seta indica o trajeto na encosta do material envolvido no escorregamento estudado e o círculo indica o local de acumulação (março/78).

Zona III - segundo evidências, nesta zona já ocorreram intensos movimentos de massa. Atualmente deve estar mais sujeita a queda de blocos de rocha (Foto 4).

Como pode-se notar, a Zona IIB e secundariamente a Zona IIA são as que se apresentam em condições mais favóráveis à ocorrência de escorregamentos e levando-se em conta ainda a maior frequência desse fenômeno, podemos considerá-las como áreas em processo atual intenso de evolução.

FOTO 4 - Aspecto da Zona III onde se nota o extenso afloramento rochoso na encosta e o depósito de tálus na base totalmente ocupada por habitação (março/78).

3.7 Caracterização do escorregamento

É analisado a partir deste item o escorregamento propriamente dito, que está situado na Zona IIB da área tipo (Figura 8), tendo ocorrido em 16-12-79 após intensas precipitações. Os detalhes do levantamento de campo deste escorregamento efetuado em 01-04-80 constam na Tabela 7, anteriormente apresentada.

Dentro da classificação proposta, o fenômeno que foi estudado neste trabalho pode ser encaixado dentro da gradação.

ESCORREGAMENTO

FLUXO

Escorregamento translacional em solo	—	Avalancha de detritos	—	Fluxo de detrito
--	---	-----------------------------	---	------------------------

convencionando representá-lo como E_4/F , de acordo com a simbologia da Tabela 6.

Especificamente pode-se até identificá-lo como F_1 (avalancha de detritos) pelas suas características, não sendo entretanto conveniente, porque a gradação mencionada estaria desta maneira sendo mascarada.

Como subsídio fundamental para o entendimento do mecanismo do fenômeno procedeu-se no presente trabalho a um levantamento das condições (forma, características físicas, etc.) da cicatriz do escorregamento e do material mobilizado.

A cicatriz caracterizada assemelha-se a uma língua, conforme apresentada na Figura 11, e sua forma e disposição dos materiais mobilizados sugerem uma subdivisão em três partes, segundo Guidicini e Nieble (1976): raiz, corpo e base. A raiz restringe-se basicamente à parte que foi efetivamente mobilizada no processo. O corpo corresponde ao trajeto percorrido pela massa durante o processo. Neste, dependendo das condições do material mobilizado e da própria característica superficial do trajeto, geralmente são incorporados diversos outros materiais (solo, rocha, tronco, etc.) na massa mobilizada. A base é o local onde acumula-se a maior quantidade do material mobilizado, constituindo-se geralmente na parte menos inclinada da cicatriz.

A caracterização geológico-geotécnica desse escorregamento foi realizada através de um perfil longitudinal

Figura 11 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA DO - ESCORREGAMENTO ESTUDADO.

(escala 1:200), planta e perfis transversais da sua raiz (escala 1:100), os quais são apresentados na Figura 11).

Foram estudados 7 perfis de solo apresentados nas Figuras 12 e 13 e que correspondem às paredes laterais da cicatriz do escorregamento. Esses perfis são discutidos em seguida.

3.8 Perfil de intemperismo típico no local do escorregamento

3.8.1 Considerações gerais

A definição de perfis de intemperismo de uma região é fundamental para o entendimento dos mecanismos que atuam e vêm atuando nesse meio. Tais perfis correspondem às respostas (espessuras de solo maiores ou menores, formações complexas, etc) às solicitações naturais impostas ao meio através do clima, cobertura vegetal, topografia, estruturas, etc.

Entende-se para fins deste trabalho, por perfil de intemperismo, a sequência vertical das zonas de material com diferentes propriedades, que se desenvolveram "in situ", e se encontram posicionadas acima da rocha sã. Sob nossas condições climáticas atuam principalmente os fatores químicos e secundariamente os físicos e biológicos.

Nos morros, eventualmente são encontradas superpostas a este perfil de intemperismo camadas de solos transportados.

Muitas têm sido as proposições de perfis de intemperismo apresentadas, caracterizando muitas delas pela sua estreita aplicabilidade a determinados tipos litológicos. Deere e Patton (1971) apresentam uma comparação de 13 perfis distintos relacionados às mais variadas litologias.

No Brasil, Branner (1896) foi o primeiro a descrever a decomposição de rochas sob o aspecto geológico. Atualmente, vários autores (Vargas, 1971, 1974, Melo, 1972, Santos, 1972, Nogami, 1978) têm proposto perfis de intemperismo ou simplesmente perfil de solo, sob o ponto de vista geológico-geotênico, decorrente principalmente do desenvolvimento da Geologia de Engenharia no País.

A terminologia utilizada neste trabalho reflete, além de várias das classificações existentes, as experiências do presente autor no decorrer de suas atividades profissionais. Entretanto, a grande aproximação é com aquela proposta por Deere e Patton (1971) para rochas ígneas e metamórficas.

Na apresentação dos perfis de intemperismo obtidos no local (Figuras 12 e 13), não são realizadas considerações mais aprofundadas sobre a rocha alterada e são, pois os meios disponíveis restringiram as investigações até o topo de rocha alterada. Entretanto, a definição do perfil completo é importante, pelo fato de permitir, pelo menos para definir teoricamente, a disposição dos materiais em profundidade. Deve-se salientar ainda que a presença de afloramentos rochosos, não rara em algumas áreas das encostas, evidencia determinados mecanismos de evolução atual, mostrando claramente a remoção ou não formação da parte superior do perfil do intemperismo.

3.8.2 Caracterização de um perfil típico

Na Figura 14 é comparada de forma geral a terminologia de Deere e Patton (1971) e a utilizada neste trabalho.

Especificamente podem-se apresentar dois exemplos de perfis encontrados no local (Figura 15 e Foto 5) que representam as disposições dos vários horizontes. Estes no local ocorrem de forma completa (Estaca 5 + 1 - lado

FIGURA 12- Perfis de intemperismo no local do escorregamento - Estaca 2 + 1m e 5 + 1m.
(para localização vide Figura 11)

FIGURA 13 - Perfis de intemperismo no local do escorregamento - Estaca 6 e 8
(para localização vide Figura 11)

SEGUNDO
DEERE E PATTON

TERMINOLOGIA
DESTE TRABALHO

<i>Horizonte A</i>	Solo superficial poroso (0,20 m)
<i>Horizonte B</i>	Solo superficial (0,60-2,00 m) com blocos imersos (Ø até 0,70 m)
<i>Saprolito</i>	Solo superficial com vestígios de feldspatos (0,10-0,20 m)
<i>Transição solo-rocha</i>	Solo de alteração de rocha ou saprolito (0,10-0,20 m)
<i>Rocha parcialmente alterada</i>	Transição solo-rocha
<i>Rocha não alterada</i>	Rocha alterada (limite do material escorregado)
	Rocha sã

FIGURA 14 - Perfil de intemperismo típico do local do escorregamento.

esquerdo do escorregamento) ou incompleta (Estaca 6 - 1ª do direito), distanciando-se um do outro em poucos metros. Muitas vezes contatos gradacionais entre os materiais dificultam a delimitação desses horizontes.

FIGURA 15 - Perfis de intemperismo completo e incompleto do local do escorregamento

FOTO 5 - Detalhe do solo superficial superposto diretamente sobre o horizonte rochoso alterado e pouco fraturado (abril/80).

3.8.3 Descrição dos horizontes

No item 2.5 deste trabalho foi apresentada uma descrição de caráter geral dos principais tipos de solo que ocorrem na área dos morros. Objetivando um maior detalhamento foi desenvolvido no presente trabalho uma descrição mais detalhada de cada um dos horizontes que compõem o perfil de intemperismo no local do escorregamento, assim como uma comparação com algumas características geotécnicas relacionadas por Deere e Patton (1971) para horizontes provenientes de litologias semelhantes.

Solo superficial

Podem-se distinguir duas zonas. Uma na parte superior, correspondendo ao horizonte A pedológico, com características de eluviação e textura frequentemente arenosa, podendo apresentar-se porosa, e com presença de raízes ou matéria orgânica. Sua espessura atinge no local 0,20 m. Outra zona, na parte inferior, corresponde ao horizonte B pedológico com características de deposição dos materiais provenientes da zona superior. Possui coloração marrom, é rico em argilo minerais, e às vezes essa zona é enriquecida com sílica, alumínio ou ferro e pode apresentar cimentação, o que a torna mais compacta. Devido à concentração relativa desses materiais e à variação sazonal a que este horizonte está sujeito, suas propriedades físicas variam consideravelmente. Às vezes encontram-se alguns vestígios da rocha matriz na parte inferior, indicando um contato gradacional entre os horizontes. Sua espessura no local varia de 0,60 a 2,00 m.

Solo de alteração de rocha (SA) ou saprolito

Corresponde ao horizonte C pedológico. Apresenta todas as evidências da rocha matriz (textura e estrutura), e os seus minerais, com exceção do quartzo, encontram-se parcial ou totalmente alterados. As estruturas residuais presentes funcionam neste material como superfícies de fraquezas e geralmente definem os planos de rupturas. A granulometria predominante é silto-arenosa, podendo ser encontradas bandas siltosas em função da presença de bandas micáceas na rocha matriz. Às vezes pode-se encontrar blocos de rocha esparsos no meio, resultantes de alterações diferenciais da rocha. Entretanto, considera-se solo de alteração quando a porcentagem desses blocos não ultrapassa 10% em volume.

Transição solo-rocha - zona de blocos ou rocha muito alterada.

Caracteriza-se por apresentar alta permeabilidade, propriedades físicas que variam desde aquelas peculiares ao solo até à rocha. A presença de blocos varia de 10% a 95% em volume, estando o solo associado diretamente às descontinuidades ou às unidades litológicas mais suscetíveis à alteração. Esse solo geralmente é constituído por areia média a grossa ou silte micáceo ou ambos, dependendo dos constituintes das rochas. Pode apresentar toda a gradação de solo de alteração até rocha alterada. O solo de alteração e a transição solo-rocha apresentam-se no local com reduzida espessura, mas com grande importância por comportarem-se como uma superfície de descontinuidade do maciço. Às vezes pode estar ausente, e neste caso o solo superficial repousa diretamente sobre o horizonte rochoso.

Rocha parcialmente alterada

Caracteriza-se por apresentar-se com descoloração e algumas alterações nas juntas. Nota-se o início da alteração dos feldspatos e das micas, às vezes localmente acentuada.

As suas características de resistência são diminuídas em relação à rocha sã, e a permeabilidade aumenta devido a três fatores: mudança de volume conseqüente da formação de novos minerais, lixiviação dos constituintes mais solúveis e abertura de fraturas devido a alívio de tensão. No local observa-se apenas o topo desse horizonte.

Rocha sã

Caracteriza-se por não apresentar alteração nos felds pato e mica, e muito pouco ou nenhuma ao longo das fraturas. Essa rocha pode, entretanto, estar muito fratura da. No local este horizonte pode ser observado apenas em exposições rochosas, neste caso não apresentando perfil de intemperismo sobreposto.

Na Tabela 13, idealizada por Deere e Patton (1971), são encontradas descrições das zonas de um perfil de in temperismo e as suas correlações com algumas proprieda des geotécnicas.

3.9 Observações sobre a cicatriz do escorregamento

Durante o levantamento da cicatriz do escorregamen to foram identificadas várias características relati vas principalmente às formas obtidas após a ocorrência do processo. Quase todas estas observações referem-se à raiz, que é parte principal de um escorregamento, sob os aspectos de seus mecanismos de mobilização:

- o limite superior da cicatriz situa-se a 2 m da ruptu ra de declive, sendo a parte de maior inclinação em so lo no perfil longitudinal;
- na parte superior da raiz foram encontradas fraturas abertas na rocha, principalmente nas paredes laterais;
- nas paredes laterais evidenciam-se estrias nos solos superficiais, que definem o sentido do movimento da massa;
- observam-se nas paredes laterais blocos imersos no so lo superficial, que tendem a formar obstáculos e, depen dendo da sua posição em relação à massa potencialmente mobilizada, impedem maiores mobilizações daquela efeti vamente ocorrida;

ZONA	DESCRIÇÃO	% Recuperação (Ø NX)	Permeabilidade relativa	Resistência relativa
solo residual	Horizonte A <ul style="list-style-type: none"> - top soil, raízes, material orgânico. - zona de lixiviação e aluviação - pode ser poroso 	0	média a alta	baixa a média
	Horizonte B <ul style="list-style-type: none"> - caracteristicamente argiloso, enriquecido por acumulações de Fe, Al e Si, podendo ser cimentado - não apresenta estruturas da rocha original 	0	baixa	geralmente baixa (alta quando cimentada)
	Horizonte C (saprolito) <ul style="list-style-type: none"> - apresenta estrutura da rocha original - granulometria varia de silte para areia - menos que 10% de blocos de rocha - geralmente micáceo 	0-10%	médio	baixa a média (estruturas da rocha condicionam a resistência).
Rocha alterada	Transição <ul style="list-style-type: none"> - muito variável, comportando-se ora como solo, ora como rocha - matriz composta de finos a areia grossa - 10 a 95% de blocos de rocha - apresenta alteração esferoidal 	10-90%	alta (geralmente há perda de água)	média a baixa nas zonas de maior alteração e nas estruturas remanescentes da rocha
	Rocha parcialmente alterada <ul style="list-style-type: none"> - comportamento varia de rocha mole para dura - manchas de alteração nas fraturas - pouca alteração de feldspatos e mica 	> 90%	média a alta	média a alta (sem considerar as estruturas geológicas)
Rocha sã	<ul style="list-style-type: none"> - pequena a nenhuma evidência de alteração nas fraturas - nenhuma alteração dos feldspatos e mica 	100%	baixa a média	muito alta (sem considerar as estruturas geológicas)

TABELA 13 - Descrição e características geotécnicas dos perfis de intemperismo das rochas ígneas e metamórficas (Deere e Patton, 1971; modificada).

- não há acumulação de material escorregado na raiz do escorregamento;
- nota-se uma tendência de aumento na largura da raiz do escorregamento, no sentido descendente;
- nas superfícies basais da raiz encontram-se irregularidades e descontinuidades topográficas que apresentam exposições rochosas como formas mais salientes (perfil longitudinal AD - Figura 11). Localmente estas superfícies apresentam-se subverticais e constituídas por rocha alterada com 2,5 m de altura;
- as superfícies basais de rocha alterada pouco fraturada possuem continuidade expressiva e as superfícies de rocha alterada muito fraturada localizadas;
- o único local onde se encontra solo de alteração na superfície basal da raiz é na sua parte superior. A jusante, a superfície é constituída predominantemente por rocha alterada;
- praticamente todas as paredes que definem a raiz do escorregamento possuem inclinações verticais ou subverticais;
- estimou-se em cerca de 10% do total mobilizado, o volume do material acumulado no corpo do escorregamento, estando este volume praticamente concentrado em uma ruptura de talude negativa secundária localizada logo abaixo da raiz do escorregamento. Este material constitui-se predominantemente de uma granulometria menor que a fração pedregulho, (diâmetro de 76 mm, granulometria ABNT - 1969);
- a massa mobilizada propiciou um aumento na extensão lateral de um afloramento rochoso na encosta natural que existia anteriormente ao processo (Foto 6).

FOTO 6 - Vista da raiz do escorregamento. Notar as exposições rochosas existentes antes do escorregamento (1), aquelas que tiveram as suas exposições aumentadas (2), e aquelas que localmente se expuseram decorrentes da mobilização do material (3) (abril/80).

3.10 Considerações sobre o local de deposição e o material mobilizado no escorregamento

Conforme já referido anteriormente, foi estimado que apenas 10% do material mobilizado foi acumulado no corpo do escorregamento. Assim 90% do material depositou-se na base (Fotos 7 e 8), sendo que pequena parte deste material foi carregada por pequenas correntes canalizadas artificialmente, através do acesso existente nas proximidades.

Esse material foi depositado imediatamente após a ruptura de declive, onde justamente a encosta torna-se menos inclinada e em sua grande parte é ocupada por moradias.

FOTO 7 - Vista do final do corpo de escorregamento. Notar o acúmulo de material na base (17.12.79).

O material mobilizado constitui-se predominantemente pelo solo superficial, areia argilosa pouco siltosa, marrom, plástica, de aspecto homogêneo e secundariamente por blocos de rocha de tamanhos variados e materiais orgânico (árvores, troncos, etc.). O solo de alteração também foi parcialmente mobilizado no escorregamento, mas devido a sua pequena expressão no perfil de intemperismo (Figuras 12 e 13) não foi mencionado.

FOTO 8 - Vista da base do escorregamento, onde foram destruídas 4 casas e vitimadas fatalmente 10 pessoas. Notar a condição de fluidez do material mobilizado (17.12.79).

A condição do solo superficial durante o escorrega
mento é de elevada saturação, comportando-se praticamen
te como um fluido, conforme pode ser identificado na Fo
to 8, à esquerda da casa de parede de madeira. Este as
pecto reflete exatamente o impacto da massa mobilizada
em algum ponto próximo à referida parede durante o desen
rolar do processo.

A foto 9 mostra o local do escorregamento após 4 me
ses onde a vegetação encontra-se em plena recuperação de
vido as condições climáticas favoráveis.

Foto 9 - Vista do corpo e base do escorregamento onde pode-se no
tar a retomada natural da vegetação (abril/80).

3.11 Retroanálise

Com os dados sobre a geometria obtidos nos trabalhos de campo e alguns parâmetros geotécnicos obtidos na bibliografia, foi realizado uma retroanálise que procurou retratar as condições em que ocorreu o escorregamento. Na prática reconhece-se a dificuldade em levar em consideração todos os fatores que atuam na instabilização de uma encosta, motivo pelo qual foram efetuadas algumas simplificações.

A seção utilizada neste cálculo é apresentada na Figura 16, que foi levantada segundo a cicatriz do escorregamento. Nesta seção foram feitas algumas simplificações de modo a compatibilizar com os dados disponíveis. O método de cálculo utilizado, retroanálise, supõe que no momento do escorregamento o fator de segurança (F.S.) seja igual a unidade, isto é:

$$FS = \frac{\text{Forças resistentes}}{\text{Forças atuantes}} = 1, \text{ onde:}$$

$$\text{Forças resistentes} = FR = \frac{(P \cos \alpha - U - V \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi + c}{1}$$

$$\text{Forças atuantes} = FA = P \sin \alpha + V \cos \alpha, \text{ sendo:}$$

P = peso do solo

U = pressão neutra

V = pressão da água na fenda

c = coesão

ϕ = ângulo de atrito

Adotando-se $P = 1,8 \text{ ton/m}^3$, linha freática de 0,1 m acima da cicatriz do escorregamento e coluna de água cheia no momento do escorregamento, teremos a seguinte relação entre c e ϕ .

$$c = 1,786 - 1,622 \text{ tg}\phi,$$

de onde pode-se estimar $\phi = 34^\circ$ (baseado em valores bibliográficos) para se chegar a $c = 0,69 \text{ t/m}^2$.

Esta condição reflete os momentos iniciais do escorregamento e não o movimento da massa que caracteriza o fenômeno. Este assunto é discutido adiante no item referente ao mecanismo de escorregamento.

FIGURA 16 - Perfil longitudinal do escorregamento estudado (perfil obtido da Figura 11 deste trabalho).

3.12 Conclusões parciais

Algumas conclusões parciais desta segunda parte de vem ser aqui destacadas:

- existe uma ciclicidade anual, caracterizada pela atuação dos agentes efetivos na encosta, que está diretamente associada ao desencadeamento do escorregamento;
- o tipo de fenômeno estudado teve larga ocorrência nos morros e sua dimensão é variável, não sendo, entretanto, de grandes proporções;
- a gradação tipológica onde está inserido o fenômeno estudado (escorregamento translacional de solo - avalanche de detritos - fluxo de detritos) é função basicamente da porcentagem de água no solo, conseqüente da precipitação pluviométrica;
- esse tipo de processo está associado a talvegues incipientes ou mal definidos;
- trincas na superfície da encosta evidenciam o fenômeno caracterizado como rastejo que passam a constituir as descontinuidades subverticais no solo superficial;
- o material mobilizado é limitado sempre pelos horizontes do perfil de intemperismo.
- nos cálculos de instabilidade não se conseguiu levar em consideração o efeito real da água, que é o principal condicionante desse tipo de escorregamento, por desconhecer exatamente seus mecanismos de atuação;
- uma mesma encosta pode se comportar de maneira bastante diferente, do ponto de vista da instabilidade, em função do tipo de perfil que apresenta.

4 MECANISMO DO ESCORREGAMENTO OCORRIDO EM DEZEMBRO DE 1979

4.1 Apresentação

O mecanismo proposto neste trabalho é o resultado de observações diretas da cicatriz e da área próxima a um determinado escorregamento e dos processos que atuaram na área após a ocorrência do evento. Entretanto, como os processos que atuam em uma encosta caracterizam-se pela ciclicidade, foi montada para este trabalho uma sequência onde estas observações de campo foram extrapoladas para um período anterior ao escorregamento, o que vem permitir o estabelecimento de um quadro geral dos processos que atuam nas encostas em um período anual.

Desta forma, são relacionados os fatores determinantes dos escorregamentos (agentes efetivos, principais causas e os fenômenos que têm ocorrência nos solos), dentro do período anual, caracterizando assim um mecanismo de instabilização da encosta.

Os dados pluviométricos aqui utilizados, referem-se aos índices efetivamente registrados no período abril/79 março/80 sendo marcante a associação do escorregamento com um episódio de chuva intensa, dentro de um determinado histórico pluviométrico.

Pode-se então, em sequência a estas considerações, estabelecer os mecanismos da área circundante ao local do escorregamento que foi caracterizada como Zona II-B (Figuras 8 e 10 e Tabela 12).

Nessa área podem-se diferenciar 3 fases distintas no desenvolvimento do processo:

- 1.^a Fase - retração e secagem do solo;
- 2.^a Fase - umedecimento e avanço do solo;
- 3.^a Fase - mobilização propriamente dita.

As duas primeiras fases resumem-se no processo de rastejo e têm ocorrência anual, independente da intensidade nesse período dos agentes predisponentes que representam o pano de fundo. Decorrem basicamente dos agentes efetivos preparatórios que atuam preponderantemente neste período, conforme já apresentado no item 2.8.

A 3ª fase caracteriza-se pelo desencadeamento do escorregamento e está associada aos agentes efetivos imediatos. Dependendo da intensidade destes agentes e do estado de progressão dos anteriores, o fenômeno poderá ou não vir a ocorrer no período. Desta forma é normal a passagem de vários anos sem que esta fase tenha o seu desenvolvimento, conforme pode ser visto na Tabela 3.

4.2 Primeira fase

Esta fase inicia-se imediatamente após a estação chuvosa, momento em que o solo ainda se encontra com elevado grau de saturação e termina em agosto, quando as condições de umidade do solo são menores, conseqüente da menor intensidade de chuva no período (Figura 17).

Devido às condições climáticas locais, nesta fase há uma tendência de secagem e contração do solo e conseqüente aparecimento de trincas na superfície do terreno. Estas podem atingir profundidades de até 1 m e aberturas de até 10 cm. Foi observada extensão de até 6 m e distribuição irregular na encosta. Pode-se observar que a sua ocorrência dá-se aproximadamente segundo as curvas de nível.

Conforme Nascimento (1967), essas contrações do solo decorrem basicamente das variações sazonais, isto é, do equilíbrio higrométrico entre o terreno e a atmosfera e a variação da temperatura, que interfere no aumento ou diminuição da tensão capilar. Esse equilíbrio higrométrico entre o solo e a atmosfera pode ser definido da seguinte forma:

FIGURA 17 - Precipitação pluviométrica no período janeiro de 1979 a agosto de 1980. Determinação das fases associadas aos processos de instabilidade de encosta (Pluviômetro Posto Sabão - E₃-210).

quando colocada uma amostra de solo em uma atmosfera com uma determinada temperatura e umidade relativa H , ambas mantidas constantes, esta amostra atingirá um determinado teor de umidade de equilíbrio que depende das suas características físico-químicas. Entre a sucção característica desse teor de umidade e a umidade relativa da atmosfera existe a seguinte relação termodinâmica (Croney e outros, 1952, in Nascimento, 1967):

$$pF = 6,50 + \log \left(\log \frac{H}{100} \right)$$

sendo

$$pF = \log h_c$$

uma maneira de sucção onde:

$h_c = \frac{\mu_c}{\gamma_a}$ é a altura da ascensão capilar correspondente à pressão capilar ou sucção μ_c e γ_a peso específico da água.

Pode-se considerar que nesta 1.^a fase, devido a menor pluviosidade e subordinadamente menores umidades e temperatura, o solo perderá umidade por evaporação, até que a respectiva sucção atinja o novo valor de equilíbrio e isso será geralmente acompanhado de uma retração. A variação da sucção ou tensão capilar (μ_c ou T_c), neste caso aumentando, proporcionará um acréscimo na pressão neutra negativa, aumentando a coesão aparente do solo e variando o seu estado de tensão no caso de não haver condição de diminuir de volume. Como no caso estudado, há condição de variação de volume do material mais superficial, o terreno contrai livremente.

4.3 Segunda fase

Corresponde ao processo inverso do anterior e resume-se no aumento do teor de água no solo por ocasião das

precipitações pluviométricas (Figura 17). Geralmente nesse momento o solo apresenta-se relativamente com o menor grau de saturação.

Com o advento das chuvas inicialmente esporádicas (agosto) e posteriormente mais frequentes (período setembro-março) a água tende a infiltrar-se no solo, provocando o fenômeno de avanço, oposto ao da 1.^a fase, e uma diminuição na coesão aparente do solo. Deve-se considerar que nesta fase há tendência de desaparecimento das trincas de tração, devendo o solo, entretanto, mantê-las como superfícies de descontinuidade e favorecendo em parte a infiltração da água no solo.

A forma de penetração da água no solo é apresentada por Morgenstern e Matos (1975) através das frentes de umedecimento que caracteriza o avanço da água proveniente da infiltração no solo não saturado, durante o tempo de uma precipitação. Cessada a chuva a água infiltrada sofre uma redistribuição, aumentando o teor de umidade do solo, alterando assim as suas propriedades.

Por ocasião de nova chuva haverá a formação de nova frente de umedecimento, que desta vez terá uma velocidade maior que a anterior, devido ao fato do material apresentar-se com maior teor de umidade. Desta forma, à medida que se adentra na estação chuvosa há uma tendência de aumentar o teor de umidade do solo, que por sua vez vem favorecer a infiltração da água de chuva.

Bodman e Coleman (1944) in Morgenstern e Matos (1975) apresentam um perfil esquemático (Figura 18) identificando 4 zonas durante a infiltração de água.

A velocidade de avanço dessa frente, segundo alguns autores (Philip, 1957, Matos, 1974 in Morgenstern e Matos, 1975) pode ser medida, dependendo do grau de saturação do solo antes da infiltração, (principal fator) do índice de vazio, da intensidade e duração da chuva e das propriedades de fluxo da água no solo não saturado.

FIGURA 18- Zonas de infiltração (segundo Bodman e Coleman, 1944 in Morgenstern e Matos, 1975).

4.4 Considerações e discussões sobre as 1.^a e 2.^a fases

Sobre a contração e avanço do solo, originando um processo cíclico na natureza. Nascimento (1967) associa um mecanismo de movimentação do terreno, aplicável no caso estudado. Esse movimento é diferenciado em função da declividade.

Para superfícies inclinadas (Figura 19) como é o caso da encosta estudada a atuação de uma componente tangencial do peso resulta em uma movimentação descendente do terreno. Segundo o mesmo autor, a movimentação ocorrerá sob a forma de rastejo quando a tensão de cisalhamento ultrapassar a tensão de fluência, e sob a forma de escorregamento, se as forças atuantes no processo ultrapassarem a resistência ao cisalhamento.

Nas encostas dos morros em geral, e especificamente na área estudada, pode-se considerar intenso o movimento de rastejo no solo superficial decorrente dessa variação sazonal, conforme resultados das investigações de campo apresentados anteriormente no estudo dos perfis da área tipo (Figura 8).

Wolle (1980) refere-se a movimentos semelhantes encontrados nas encostas da Serra do Mar, sugerindo e re

FIGURA 19 - Contração e dilatação de uma amostra de solo em um plano inclinado.

sumindo várias hipóteses sobre mecanismo de mobilização. Cabrera (1974) menciona os movimentos dos solos coluvionares da Serra do Mar, caracterizando-os como rastejo. Atribui como causas destes movimentos a expansão e contração diária das camadas superiores do solo, e a ação de gravidade.

No presente trabalho observou-se que o movimento de rastejo é variável dentro do perfil da encosta, sendo mais intenso abaixo da ruptura de declive, que separa a unidade plana ou convexa (situada à montante) da unidade retilínea a jusante (Figura 20).

A Figura 20 (A) representa o perfil y-y', da zona II-B (Figuras 8 e 10), considerada como a mais instável dentro das zonas da área tipo. Como pode ser observado, possui uma ruptura de declive acentuada, e foi nesse ponto da encosta que ocorreu o escorregamento estudado neste trabalho.

FIGURA 20 - A ruptura de declive e o processo de rastejo

Deve-se salientar que, no âmbito dos morros, foi observada maior ocorrência de escorregamentos semelhantes ao estudado nesse ponto do perfil da encosta (ruptura de declive).

Desta forma, foi identificado no presente trabalho um mecanismo de movimentação lenta para encosta com morfologia e perfis de intemperismo, semelhante à estudada, e que pode ser expressa pela Figura 20 (B). Essa movimentação corresponde às fases 1.^a e 2.^a anteriormente mencionadas (Figura 17) e sua ocorrência dá-se no solo superficial em função principalmente das contrações e avanço do solo.

Pode-se então a partir da Figura 20 (B), imaginar não uma, mas diversas unidades de solo dispostas sequencialmente segundo um perfil longitudinal à encosta con

forme em (a). Isto se dá quando o solo se encontra no final da época de chuvas (final da 2.^a fase do ciclo anterior). Posteriormente, durante a 1.^a fase (Figura 17) esse solo passaria a dispor-se conforme em (b), onde haveria o aparecimento de trincas devido à sua retração. Já na 2.^a fase, decorrente do avanço do solo, sua disposição seria aquela amostrada em (c).

Como pode ser observado nessa sequência, quanto mais acentuada for a ruptura de declive positiva mais marcante será a descontinuidade na encosta, e, conseqüentemente, mais favorável ao desenvolvimento do escorregamento. Este aspecto será abordado mais detalhadamente na descrição da 3.^a fase.

Deve ser observado ainda, que em uma unidade retilínea do perfil da encosta (Figura 3), pequenas irregularidades podem ser encontradas na sua superfície, caracterizando-se como rupturas de declive secundárias, o que faz supor que possam surgir nestes pontos descontinuidades que vão favorecer, subordinadamente a ocorrência de escorregamentos atuantes na encosta, que se apresentam através de desníveis mais acentuados nesse ponto do perfil, conforme mostrado em (d) na Figura 20 (B).

De modo geral, essa encosta como um todo, e de forma mais marcante no topo, tenderá a apresentar-se com degraus. Esse mecanismo caracteriza a 1.^a e 2.^a fases, definindo o movimento de rastejo.

Três observações efetuadas por autores diferentes parecem harmonizar-se perfeitamente com o mecanismo apresentado, as quais são a seguir resumidas:

Casagrande (1967), após breve visita aos escorregamentos de Caraguatatuba (Serra do Mar) em 1967, descreve em seu relatório que "os escorregamentos, de uma forma geral, começam do alto, onde uma testemunha ocular encontrada no local pôde ver árvores tombando, e isto sugere

que os escorregamentos foram precedidos pela abertura de rachaduras no cimo, que facilitaram grandemente a penetração das águas através do solo, até as fendas da rocha".

Estas fendas, mencionadas pelo referido autor, provavelmente correspondem às descontinuidades originadas pelo mecanismo que atuaram nas rupturas de declive.

Costa Nunes (1969), abordando os escorregamentos de 1967 nas Serras das Araras. Estrada Rio de Janeiro, descreve "deve ser notado que a região era suficientemente protegida por vegetação mas os escorregamentos atingiram a parte alta dos taludes, que eram cobertos com floresta natural, ou no mínimo, sem interferência antrópica nos últimos 70 anos".

Rogers e Selby (1980) identificaram em um escoregamento translacional em solo na Nova Zelândia a importância de atuação da água proveniente de chuvas intensas, nas trincas de tração, bem como a permeabilidade diferencial entre horizontes distintos. Baseados em suas observações de campo e no relato de uma testemunha ocular esquematizaram os momentos onde dá-se a mobilização propriamente do material, desde o início da abertura das trincas de tração até a liberação do solo com elevada saturação, projetando-se encosta abaixo. Este período foi estimado por estes autores em aproximadamente 2 horas.

Interessante ressaltar a diferença do mecanismo que leva à movimentação da encosta em áreas como a estudada (Zona II-B da área tipo - Foto 2 e Figura 8). Nessa área a vegetação original foi parcialmente destruída, restando atualmente apenas aquelas do tipo arbustiva ou rasteira, aspecto que condiciona um movimento de encosta tipicamente sazonal, conforme definido por Terzaghi (1953) e descrito anteriormente neste trabalho. Neste caso, a ação da gravidade é acelerada pela intensa sazonalidade à que é submetida a encosta.

Nas áreas da Serra do Mar essa movimentação do solo (contração e avanço) é em parte minimizada em função das várias formas de atuação da cobertura vegetal (menor insolação, menor variação de umidade e temperatura, menor infiltração de água no solo, etc.) e pela própria ação das raízes, fazendo com que provavelmente a ação da gravidade tenha igual senão maior importância que o ressecamento do solo, e conseqüentemente maior predominância do rastejo perene.

Independentemente do mecanismo de rastejo que atua nessas áreas, a ruptura de declive determina o limite básico da massa mobilizada em um escorregamento.

4.5 Terceira Fase

Corresponde à fase de atuação dos agentes efetivos imediatos e do desencadeamento do escorregamento propriamente dito, podendo ter duração desde algumas horas até poucos dias. O período de precipitação intensa que antecede a ocorrência do fenômeno é o que melhor caracteriza essa fase, e sua variação consta de uma maneira geral na Tabela 3, e de forma específica para o caso estudado, na Figura 16.

Entretanto, deve-se lembrar que o período assinalado na citada Tabela, com exceção de 3 registros refere-se às medidas diárias dos pluviômetros, efetuados sistematicamente a cada 24 horas.

Esta fase caracteriza-se por promover uma elevada saturação do solo, que pode ser observada, de forma indireta, pelo comportamento fluido que a massa mobilizada normalmente apresenta (Foto 8). Essa elevada saturação do solo condiciona uma diminuição nos seus parâmetros de resistência (coesão aparente e ângulo de atrito), fato este já comprovado por vários autores (Wolle e outros, 1977, no solo superficial da Serra do Mar; Presa e Silva, 1978, Salvador-BA).

Além deste fator foi identificado no presente trabalho um outro de ordem geológica que atua na determinação no local potencialmente mais favorável para a ocorrência do fenômeno, que são as descontinuidades subverticais originadas durante a 1.^a e a 2.^a fases.

Essa descontinuidade coincide com os locais da abertura das fendas de tração citadas por Terzaghi (1953) na apresentação do seu diagrama demonstrativo dos movimentos do solo que precedem ao escorregamento.

A Tabela 14 resume as 3 fases apresentando uma sequência dos fenômenos que ocorrem em uma encosta natural num período de 12 meses. Considera os principais agentes efetivos e as principais causas.

Como hipótese para o mecanismo específico desta 3.^a fase poder-se-ia atribuir inicialmente um comportamento plástico da massa que está sendo mobilizada. Este comportamento pode ocorrer pelo fato de que a umidade natural desses solos para período posterior e chuvas prolongadas é da ordem de 0,5 a 2% a menos que o limite de plasticidade (este dado deve ser analisado com cuidado visto que estes ensaios, são realizados com material de formado).

Este comportamento, associado às condições de diminuição dos parâmetros de resistência do solo provoca a mobilização de massa, inicialmente de forma lenta. Este movimento inicia com o solo já apresentando trincas originadas nas fase 1.^a e 2.^a e que agora estão sendo abertas gradativamente e preenchidas com água da chuva (Figura 21).

Essa mobilização provoca a mistura da água encontrada nas trincas com o solo que por sua vez já contém elevado teor de umidade. Essa mistura transforma o material em estado fluído, característico destes tipos de escorregamentos, como pode ser observada na Foto 8. O limite

1. Solo superficial com elevado grau de saturação apresentando os seus parâmetros de resistência diminuídos (coesão aparente e ângulo de atrito interno).
2. Trinca originada durante o processo contração-dilatação (rastejo) no solo superficial, e mantida como descontinuidade na 3ª fase, sendo lentamente aberta com a gradual perda das resistências ao cisalhamento do material; funciona como elemento captador de água pluvial durante as chuvas intensas.
3. Esquema de desenvolvimento de pressão hidrostática de corrente de formação de coluna d'água por ocasião de chuva intensa e/ou em vales em processo de formação.
4. Desenvolvimento de subpressão na transição solo-rocha devido à maior permeabilidade em relação aos horizontes superiores (1) e inferiores (5), conseqüente da água infiltrada da trinca.
5. Horizonte rochoso parcialmente alterado ou sã, pouco fraturado.

FIGURA 21 - Condição crítica da encosta imediatamente antes do escorregamento caracterizando a 3ª fase.

FASE	MES	PRINCIPAIS AGENTES EFETIVOS	PRINCIPAIS CAUSAS	FENÔMENO	MOVIMENTO DE MASSA
1ª	ABRIL A AGOSTO	- temperatura - chuvas escassas - vento - (ação antrópica)	- diminuição de umidade do solo	- aparecimento de descon- tinuidade na superfície - contração do solo - aumento de coesão aparente	-
2ª	SETEMBRO A NOVEMBRO	- chuvas moderadas - gravidade - (ação antrópica)	- aumento da umidade do solo (aparecimento das frentes de umedecimen- to)	- desaparecimento parcial das descontinuidades - dilatação do solo - diminuição gradativa da coesão aparente	rastejo
3ª	DEZEMBRO A MARÇO	- chuvas intensas - gravidade - (ação antrópica)	- elevado grau de satura- ção do solo	- intensificação dos fenôme- nos da fase anterior - material atinge o grau de fluidez - aparecimento de trincas de tração originadas nas des- continuidades, nas rupturas de declive - grande diminuição da coesão aparente - diminuição do ângulo de a- trito nos contatos	Escorregamento (sujeito a ocorrer dentro des- se período).

TABELA 14 - Seqüência dos fenômenos que ocorrem em uma encosta natural num período de 12 meses.

desta mobilização geralmente é o contato com o solo saprolítico sotoposto. Na parte superior da cicatriz do escorregamento é preservado o solo saprolítico enquanto na parte inferior aflora a rocha alterada, devido as próprias forças de arraste desenvolvidas na mobilização do material fluído.

Em se tratando de fator de segurança teríamos então o início do escorregamento com $FS \approx 1$ e logo em seguida com a fluidez do material $FS \ll 1$, representando uma queda abrupta das forças resistentes que atuam no talude.

4.6 Conclusões

A partir dos resultados finais deste trabalho pode-se concluir que:

- a) a movimentação das encostas na área é definida principalmente por uma ciclicidade anual correlacionada com o processo de rastejo (1.^a e 2.^a fases). Eventualmente esse movimento culmina com o escorregamento (3.^a fase);
- b) a ciclicidade é consequência da atuação dos agentes efetivos preparatórios (1.^a e 2.^a fases) e imediatos (3.^a fase), conforme Tabela 14;
- e) a descontinuidade (trincas) resultante do processo de rastejo (Figura 20) representa o meio por onde ocorre a penetração das águas pluviais durante as chuvas intensas, dentro de determinado histórico pluviométrico, motivo pelo qual a maioria desses escorregamentos ocorre nessas ocasiões;
- f) a condição de total fluidez do material do escorregamento é decorrente da mistura do solo com a água pluvial acumulado nas trincas durante o período de chuva intensa, sendo por este motivo que tais escorregamentos so ocorrem neste período;
- g) poder-se-iam detectar com antecedência estes escorregamentos, principalmente em áreas urbanizadas, atra

vês de dispositivos de alarme instalados nesses pontos de encostas, que funcionaram como indicadores do início de movimentação. Essa movimentação começa lenta, aumentando gradativamente até a projeção do material para fora do talude, momento em que se dá um som característico (estrondo). Não se tem exatamente a medida desse período que leva ao desenvolvimento do processo mas supõe-se que seja da ordem de uma dezena de minutos até 2 horas;

- h) a minimização destes escorregamentos em zonas urbanas pode ser conseguida adotando-se na zona definida pela ruptura de declive, essencialmente, drenagem canalizada de montante e proteção vegetal, visando o aumento da coesão total e a diminuição da insolação na zona de trincas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A. S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C. A. - 1981 - Mapa geológico do Estado de São Paulo; escala 1:500 000, nota explicativa. São Paulo, IPT/DMGA (IPT, Monografia 6) v. 1
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - 1969 - Rochas e solos - Terminologia Brasileira. Rio de Janeiro. 2 p. (ABNT-TB-3).
- BRANNER, J.C. - 1896 - Decomposição de rochas no Brasil. Bol. Geogr. 5 (58): 1103-1112, (59): 1266-1300. 1948.
- CABRERA, J.C. - 1974 - Aspectos da Geologia de Engenharia da encosta da Serra de Cubatão. São Paulo, Light. (preparado para visita à Usina Henry Borden durante o 29 Congr. Int. Geol. Eng.).
- DEERE, D.U. e PATTON, F.D. - 1971 - Slope stability in residual soils. In: Panamerican Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, 4th, San Juan, 1971. Proceedings... New York, ASCE. v. 1, pág. 87-170.
- CARNEIRO, C.D.R.; SANTORO, E.; RODRIGUES, E.P. e HASUI, Y. - 1979 - Evolução Geológica do Prê-Cambriano na Baixada Santista. In: Simpósio Regional de Geologia, 29 Rio Claro, 1979. Atas... São Paulo, SBG v. 1, p. 31-45.
- CASAGRANDE, A. - 1967 - Relatório sobre os escorregamentos no trecho da Serra de Caraguatatuba. São Paulo, s.n.t. 4 fls.
- COUTINHO, J.M.V. - 1971 - Prê-Cambriano paulista, parte 1 Prê-Cambriano ao sul da cidade de São Paulo. IN: Con

gresso Brasileiro de Geologia, 259, São Paulo, 1971.
Roteiro das excursões. Bol. Esp. SBG (2): 53-62.

FREIRE, E.S.M. - 1965 - Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Const. p. 10-18 mar.

GUIDICINI, G. e IWASA, O.Y. - 1976 - Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo, IPT (Publicação IPT, 1080) (Trabalho apres. Symp. Lands. other mass movem., Praga, IAEG, 1977).

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. - 1976 - Estabilidade taludes naturais e de escavação. São Paulo, Edgard Blucher, EDUSP. 170 p. il.

HASUI, Y. e SADOWSKI, G.R. - 1971 - Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. R.Bras. Geoc., São Paulo, SBG, 6 (3): 182-200. set.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1958 - Apreciação Geológica da encosta norte do Monte Serrat em Santos. São Paulo (Relatório IPT, 2765).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1973 - Estudos geológicos e sedimentológicos no estuário santista e na bacia de Santos, SP - São Paulo. (Relatório IPT, 7443).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1975 - Estudos geológicos para estabilização em 9 locais no trecho ferroviário Evangelista de Souza - Samaritã - fase anteprojeto. São Paulo (Relatório IPT, 7950).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1976 - Estudos geológico-geotécnicos para obras de emergência no trecho ferroviário Evangelista de Souza-Paratinga. (Com anexos). São Paulo (Relatório, 9051).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1978a - Levantamento das condicionantes do meio físico e estabelecimento de critérios normativos para a ocupação urbana dos morros de Santos. (Carta Geotécnica). São Paulo (Relatório IPT, 11599).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1978b - Levantamento das condicionantes geotécnicas e estabelecimento de critérios normativos para ocupação urbana dos morros de Santos. São Paulo. 7p. (Relatório IPT, 11023).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1978c - Indicação de medidas auxiliares de estabilização para três locais críticos nos morros de São Vicente. São Paulo (Relatório IPT, 11071).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1978d - Recomendações para consolidação de taludes do trecho inicial da ligação Marapê - Praça Guadalupe (estrada de interligação dos morros). São Paulo. São Paulo. 11 p. (Relatório IPT, 11137).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1980 - Projeto executivo das obras de consolidação da interligação viária dos morros de Nova Cintra e São Bento, município de Santos. São Paulo. (Relatório IPT, 13492).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1981a - Estudos de viabilidade técnica e econômica das alternativas de traçado para duplicação da

rodovia SP-55 no trecho da travessia da Serra do Qui
lombo. São Paulo, 2 v. il. (Relatório IPT, 15714).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO
PAULO - 1981b - Identificação e cadastramento preli
minar das casas e áreas críticas quanto a escorrega
mentos dos morros de Santos; subsídios para implanta
ção de um plano de emergência. São Paulo (Relatório
IPT, 14738).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO
PAULO - 1981c - Recomendações de obras e medidas prio
ritárias para consolidação das áreas críticas dos
morros de Santos. São Paulo (Relatório IPT, 15124).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO
PAULO - 1981d - Normalização do uso e ocupação do so
lo nos morros de Santos. São Paulo. (Relatório IPT,
15707).

MELLO, V.F.B. - 1979 - Apreciação sobre a engenharia de
solos aplicável a solos residuais; trad. por E.F. de
Quadros e R.F. da Silva. São Paulo, ABGE. 60 p. il.
(Tradução ABGE, 9).

MORGENSTERN, N.R. e MATOS, M.M. - 1975 - Stability of
slopes in residual soils. In: Congresso Panamericano
de Mecânica de Suelos y Ingeniería de Fundaciones,
59 Buenos Aires, 1975. Annales... Buenos Aires, ISSMFE
N.3, p. 367-383.

NASCIMENTO, U. - 1967 - Relato geral. In: Simpósio so
bre Estabilidade e Consolidação de Taludes, Rio de
Janeiro, 1967.

NOGAMI, J.S. - 1978 - The adequate use of genetic
grouping of lateritic and residual soils. In: Inter
national Congress of the International Association

- of Engineering Geology, 3rd, Madrid, 1978. Proceedings... Madrid, SEG, v.2, theme pp. 153-159.
- NUNES, A.J. da C. - 1969 - Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7th, México, 1969. Proceedings... México, ISSMFE, pp. 547-554.
- PICHLER, E. - 1957 - Aspectos Geológicos dos Escorregamentos de Santos. Boletim SBG, 6(2):70-77 il.
- PIRES NETO, A.G.; PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R. e STEIN, D.P. - 1979 - Carta geomorfológica dos morros de Santos e São Vicente (SP). In: Simpósio Regional de Geologia, 2º Rio Claro, 1979. Atas... São Paulo, SBG. v.2, p. 279-290.
- PRESA, E.P. e SILVA, J.C.F. - 1978 - Escorregamento no maciço do Julião - Salvador. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2º São Paulo, 1978. Anais... São Paulo, ABGE. v. 2, p. 165-184.
- ROGERS, N.W. e SELBY, M.J. - 1980 - Mechanisms of shallow Translational landsliding during summer rainstorms north Island, New Zealand. Geogr. Ann. 62 A (1/2): 11-20.
- SADOWSKI, G.R. - 1974 - Tectônica da Serra de Cubatão, SP. São Paulo. 159 p. il. (Tese de doutoramento. Inst. de Geociências USP).
- SANTORO, E. e CUNHA, M.A. - 1976 - Estudos geológico-geotécnicos para consolidação de uma ferrovia localizada na Serra de Cubatão. In: Congresso Brasileiro de

Geologia de Engenharia, 19, Rio de Janeiro, 1976.
Anais... São Paulo, ABGE. v.1, p. 371-383.

SANTOS, A.R. - 1972 - Conceituação geológica e geotécnica dos diferentes horizontes de solos e rochas típicas do maciço metamórfico da Serra do Mar. In: Semana Paulista de Geologia Aplicada, 49, São Paulo, 1972.
Anais... São Paulo, APGA. p. 265-274.

SHARPE, C.F.S. - 1938 - Landslides and related phenomena. New York, Columbia University Press 137 p. il.

TECNOSOLO - Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais 1964 - Levantamento atualizado da geologia aplicada dos morros de Santos, com indicação dos trechos a proteger com obras de sustentação, drenagem e impermeabilização adequadas e ainda as áreas onde se devem instalar dispositivos de alarme. Rio de Janeiro, 27 fls, il. anexo.

TERZAGHI, K. - 1953 - Mecanismo dos escorregamentos de terra. Trad. Ernesto Pichler. São Paulo, EDUSP. Separata do Bol DER (67) jul. 1952 e R. Esc. Poli (167) jul.-ago. 1952. (original 1950).

VARGAS, M. - 1966 - Estabilização de taludes em encostas de gnaisses decompostos. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Belo Horizonte, 1966. Anais ... São Paulo, ABMS. v. 1, p. VI-32-55.

VARGAS, M. - 1967 - Estabilização de taludes - Deslizamentos apontam soluções. Dir. Const., 4 (2): 29-36. dez.

VARGAS, M. - 1971 - Slope stability in residual soils. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 4th, San Juan, 1971. Proceedings... New York, ASCE. v.3, sec. 2, p. 135-143.

- VARGAS, M. - 1974 - Engineering properties of residual soils from South-Central Brazil, In: International Congress of International Association of Engineering Geology 2nd, São Paulo, 1974. Proceedings... São Paulo, ABGE. v.1, p. IV. PC-5.1-5.25.
- VARGAS, M.; FELICÍSSIMO Jr.; DUARTE, A.; SORCINELLI, M. e PICHLER, E. - 1956a - Os escorregamentos dos Morros de Santos. Relatório da comissão nomeada pelo Governador do Estado para investigar as ocorrências catastróficas de Santos. São Paulo, IPT. 20 p.il.
- VARGAS, M.; PICHLER, E. e SILVA, F.P. - 1956b - Análise de dois escorregamentos de solo residual em Santos. São Paulo, IPT. 22 p. il. (Relatório de Pesquisa, 1).
- VARNES, D.J. - 1958 - Landslides types and processes. In: Eckel, E.B. Landslides and engineering practice. Washington, Committee on landslide Investigations, 1958 p. 20-47. il. (NAS-NRC, Publication 544).
- WOLLE, C.M.; GUIDICINI, G. ARAUJO, J.S. e PEDROSA, J.A.B.A. 1979 - Caracterização de um mecanismo de escorregamento nas encostas da Serra do Mar. São Paulo, IPT. 23p. il. (Publicação IPT 1079) (Apres. Symp. Landslides and other mass movements Praga, IAEG).
- WOLLE, C.M. - 1980 - Taludes naturais: Mecanismos de Instabilização e critérios de segurança. São Paulo, o autor. (Dissertação de mestrado apr. a EPUSP).
- YOUNG, A. - 1972 - Slopes. Edinburger, Oliver and Boyd, 1972. 288p. il. (Geomorphology text, 3). Bibliografia.
- ZARUBA, Q. e MENCL, V. - 1969 - Landslides and their control. Amsterdam, Elsevier. 205 p.il.