

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE  
MASSA NO MUNICÍPIO DE PERUÍBE – SP, COM O APOIO  
DE UM SISTEMA INTEGRADOR DE INFORMAÇÕES  
GEOREFERENCIADAS.**

Daniel Cardoso

Orientador: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao  
Programa de Pós-Graduação em Geociências  
- Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente,  
para obtenção do Título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2005

624.151 Cardoso, Daniel

C268a Análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Peruíbe – SP com o apoio de um sistema integrador de informações georeferenciadas / Daniel Cardoso. – Rio Claro : [s.n.], 2005  
128 f. : il., tabs., fots., quadros

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Geologia de engenharia. 2. Banco de dados espacial. 3. Árvore lógica. 4. Sistemas de informações geográficas. I. Título.

## SUMÁRIO

Índice .....	ii
Índice de Tabelas .....	iii
Índice de Figuras .....	iv
Resumo .....	viii
Abstract .....	ix
I - Introdução .....	01
II - Material e Métodos .....	19
III - Resultados e Discussão .....	105
IV - Conclusões .....	122
V - Referências Bibliográficas .....	124

## INDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	01
2.	OBJETIVOS.....	02
3.	DADOS SOBRE A ÁREA DE ESTUDOS.....	03
3.1.	Localização.....	03
3.2.	Clima.....	05
3.3.	Vegetação.....	05
3.3.1.	Formações Florestais.....	05
3.3.2.	Formações Litorâneas.....	06
3.4.	Geologia Regional.....	07
3.4.1.	Estrutural.....	12
3.5.	Geomorfologia.....	14
3.5.1.	Planalto Atlântico.....	15
3.5.2.	Província Costeira.....	16
3.5.2.1.	Escarpa.....	16
3.5.2.2.	Serrania Costeira.....	17
3.5.2.3.	Planície Costeira.....	17
4.	MÉTODO.....	19
4.1.	Fundamentação Teórica.....	20
4.1.1.	Compartimentação Fisiográfica.....	20
4.1.2.	Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Compartimentação Fisiográfica de Terrenos.....	22
4.1.3.	Movimentos de massa.....	26
4.1.3.1.	Fatores dos movimentos de massa	33
4.1.4.	Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa em uma determinada área física.....	38
4.2.	Hipóteses básicas.....	39
4.2.1.	A unidade de mapeamento.....	40
4.2.2.	Modelagem de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.....	40
4.2.3.	Modelagem do processo no Sistema de Informação Geográfica.....	42
4.3.	Sistemas de Informações Geográficas.....	43
4.3.1.	Banco de dados espacial.....	47
4.4.	Etapas de trabalho.....	49
4.4.1.	A Etapa de Compartimentação Fisiográfica do Terreno.....	52
4.4.2.	Caracterização geotécnica dos compartimentos.....	80
4.4.3.	Cartografia temática e de síntese.....	82
4.4.3.1.	Carta de declividade e carta de exposição de vertentes.....	82
4.4.3.2.	Mapa de Fraturas.....	88
4.4.3.3.	Cartas de suscetibilidade a movimentos de massa.....	94
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	105
5.1	Resultados	105
5.1.1	Compartimentação fisiográfica.....	105
5.1.2.	Caracterização geotécnica.....	109
5.1.3.	Cartografia temática e de síntese.....	109
5.2.	Discussão dos resultados.....	118
6.	CONCLUSÕES.....	122
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

## INDICE DE TABELAS

Tabela 4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FORMAS TEXTURAIIS EM IMAGENS DE SATÉLITE	25
Tabela 4.2.	CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA PROPOSTA POR VARGAS (1999)	27
Tabela 4.3.	CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA PROPOSTA POR AUGUSTO FILHO (1999)28	28
Tabela 4.4.	AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA, SEGUNDO GUIDICINI & NIEBLE (1976)	34
Tabela 4.5.	AÇÃO DOS FATORES DEFLAGRADORES DOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS VARNES (1978)	35
Tabela 4.6.	CAUSAS DE ESCORREGAMENTOS, SEGUNDO CRUDEN & VARNES (1996)	36
Tabela 4.7.	FATORES RELACIONADOS À PRESENÇA DA VEGETAÇÃO, SEGUNDO GRAY & LEISER (1982) APUD BARROS (2001)	38
Tabela 4.8.	PARTE FRONTAL DA FICHA DE CAMPO	68
Tabela 4.9.	VERSO DA FICHA DE CAMPO UTILIZADA, NAS DESCRIÇÕES.	69
Tabela 4.10.	EXEMPLO DA PARTE FRONTAL DA FICHA DE CAMPO, CONTENDO A DESCRIÇÃO DO PONTO.	70
Tabela 4.11.	PARTE DE POSTERIOR DA FICHA DE CAMPO, PREENCHIDA COM DADOS DE UM PONTO.	71
Tabela 4.12	CARACTERÍSTICAS LEVANTADAS EM CAMPO DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO E SUAS CLASSES	81
Tabela 5.1	DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBC), NAS IMAGENS DE SATÉLITE.	105
Tabela 5.2	PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS INFERIDAS PARA AS UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBCs)	109

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Localização do município de Peruíbe no litoral sul do Estado de São Paulo	03
Figura 3.2	Limite do município de Peruíbe, sobreposto à banda 4 (contraste linear), do satélite ETM+ Landsat 7.	04
Figura 3.3	Mapa de geológico do município de Peruíbe.	11
Figura 3.4	Compartimentação tectônica da porção sul-sudeste do Estado de São Paulo (PASSARELLI, 2000).	13
Figura 3.5	Domínios tectônicos da região sudeste do Estado de São Paulo (CAMPOS NETO & FIGUEIREDO, 1995).	14
Figura 4.2	Principais tipos de movimentos em forma de fluxo (Hutchinson, 1988).	29
Figura 4.3	Perfil típico de intemperismo na região Sudeste do Brasil, em rocha do tipo granítico (HUTCHINSON, 1988).	31
Figura 4.4	Principais tipos de rupturas translacionais. (HUTCHINSON, 1988)	31
Figura 4.5	Principais tipos de rupturas rotacionais e compostas (HUTCHINSON, 1988).	32
Figura 4.6	Principais tipos de tombamentos e quedas (HUTCHINSON, 1988)	33
Figura 4.7	Etapas básicas para a elaboração de zoneamentos geotécnicos (Vedovello, 2000)	51
Figura 4.8	Composição falsa cor 3B4R5G (contraste linear), mostrando área do município de Peruíbe.	54
Figura 4.9	Imagem mostrando diferentes classes de densidade de elementos texturais. A) muito alta; B) alta; C) média; D) Baixa; E) muito baixa	62
Figura 4.10	Imagem mostrando exemplos das diferentes classes de tropia: A) muito orientada; B) pouco orientada; C) não orientada (planície).	62
Figura 4.11	Diferentes formas de encostas na imagem e na carta topográfica: A) encosta retilínea; b) encosta côncava; C) encosta convexa	64
Figura 4.12	Imagem mostrando exemplos dos diferentes tipos de topo: A) topo contínuo e agudo (CA); B) topo restrito e convexo (RX).	66
Figura 4.13	Mapa base simplificado, da área de estudo.	76
Figura 4.14	Banda 4 do Landsat 7 (contraste linear) ETM+ , mostrando os compartimentos obtidos.	77
Figura 4.15	Mapa base da área de estudo. (Folhas topográficas Rio São Lourençinho, Itanhaém e Pedro de Toledo, escala 1:150000) e pontos de campo.	78
Figura 4.16	Tabela de atributos aos objetos do banco vinculada as UBCs	79
Figura 4.17	Valores de declividade máximos e médios, além de exposição das vertentes (maioria zonal), por UBC.	87
Figura 4.18	Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NE/SW	90
Figura 4.19	Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NW/SE	91
Figura 4.20	Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NS_EW	92
Figura 4.21	Objeto que armazena a frequência de fraturas no interior do banco de dados, informações que serão recuperadas na consulta.	93
Figura 4.22	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NE/SW)	96
Figura 4.23	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NE/SW) – cont.	97
Figura 4.24	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NE/SW) – cont.	98

Figura 4.25	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NW/SE)	99
Figura 4.26	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NW/SE) – cont.	100
Figura 4.27	Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NW/SE) – cont.	101
Figura 4.28	Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso	102
Figura 4.29	Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso – cont.	103
Figura 4.30	Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso – cont.	104
Figura 5.1	Mapa de unidades básicas de compartimentação para o município de Peruíbe.	108
Figura 5.2	Carta de classes de declividade do município de Peruíbe.	111
Figura 5.3	Carta de exposição das vertentes para o município de Peruíbe.	112
Figura 5.4	Carta de exposição preferencial das vertentes por UBC.	113
Figura 5.5	Mapa de direções de fraturas.	114
Figura 5.6	Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NE / SW	115
Figura 5.7	Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NW / SE	116
Figura 5.8	Carta de suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos	117

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à vida,  
movimento eterno e  
aprendizado contínuo.

## AGRADECIMENTOS

Começo estes agradecimentos, primeiramente, oferecendo um gentil e cordial abraço à Profa. Dra. Paulina Setti Riedel, que durante longos anos, apoiou, orientou e ajudou muito, mas muito mesmo, na minha jornada até este precioso momento, e mesmo quando tudo parecia estar quase perdido, eu reapareço e a encontro com um lindo e jovial sorriso, e de braços abertos para me receber.

Agradeço também, a equipe e aos profissionais do IG – SMA, Ricardo Vedovello, Maria José Brollo e Lídia Keiko Tominaga, pelo apoio profissionalizante cedido e pela participação em inúmeras etapas deste projeto.

À minha querida família, meus pais e irmãos, que sempre me puxaram a orelha, para que eu não esmorecesse e não saísse do meu tortuoso caminho. É com muita emoção que eu lhes agradeço.

Aos meus companheiros de trabalho e lutas (foram tantos), pois sem vocês a vida seria sem cor, e muitas vezes num bate-papo informal, sem saber, me ajudaram a ter grandes idéias para a conclusão da minha dissertação.

Tem uma equipe muito especial, a qual quero agradecer também, que são dois membros da geotecnologia e de vital importância para meu trabalho, Paulo Sérgio Nascimento e Eymar Lopes, não sei dizer o quanto aprendi com esses dois rapazes. Muito obrigado.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por ter me concedido o financiamento desta pesquisa, durante o período de dois anos.

Agradeço também a uma equipe que apareceu na reta final, nos dois últimos dias, formada pelos profissionais da Empresa HIDROPLAN – Hidrogeologia e Planejamento Ambiental, que me apoiaram e me incentivaram e a Darlene de Cássia Armbrust, que me agüentou nos “finalmentes”.

À todos os meus amigos que sempre quero bem.

E é lógico a mim.

## RESUMO

Neste trabalho, desenvolvido no município de Peruíbe, litoral paulista, as imagens de sensoriamento remoto, apoiadas em descrições de campo, foram utilizadas para compartimentar o meio físico a partir de suas propriedades geológicas e geomorfológicas, para a individualização das denominadas unidades básicas de compartimentação (UBCs). Estas unidades foram classificadas quanto à declividade, forma das encostas, forma de topos, profundidade do perfil de alteração, direção preferencial das estruturas geológicas, e, com o apoio de um banco de dados espacial, integrado a um sistema de informações georeferenciadas, estas informações foram cruzadas, através de regras prévias de cruzamento, baseadas em árvore lógica de decisão e voltadas à análise da suscetibilidade a movimentos de massa da área de estudo. As técnicas de sensoriamento e os bancos de dados espaciais, integrados aos sistemas de informação geográfica, mostraram-se bastante eficazes em análises voltadas ao estudo das potencialidades e fragilidades do meio físico, especificamente no estudo da suscetibilidade a movimentos de massa.

**PALAVRAS CHAVES:** banco de dados espacial, árvore lógica, sistema de informação geográfica, movimentos de massa.

## A B S T R A C T

In this work, placed in the municipal district of Peruibe, coastal zone of Sao Paulo State, remote sensing images backed up by fieldwork descriptions, were used to divide the environment in its geological and geomorphologic properties, in order to individualize the such called Basic Terrain Units (BTU). These units were classified using the following aspects: slope, weathering soil depth, direction of the preferential geological structures, and handle by geographic information system, information were crossed, using previously crossing rules, based on logical decision tree and applied to landslide susceptibility analysis. Remote sensing, geographical information systems and spatial database, when used together, are efficient in the evaluation of the potentialities and fragilities of the environment, specifically for landslide susceptibility analysis .

**KEY WORDS:** spatial database, logical decision tree, geographic information systems, landslides.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, estudos que conduzam a uma melhor compreensão das potencialidades e limitações do meio físico têm adquirido grande importância, impulsionados pela crescente preocupação com o meio ambiente.

Os estudos sobre o meio físico podem ser realizados em escalas locais, de detalhe, ou em escalas regionais, dependendo dos objetivos pretendidos. Em escalas regionais, parte-se, muitas vezes para generalizações, que podem ser efetuadas através de compartimentações, onde o meio físico é separado em áreas homogêneas, a partir de determinados critérios.

A partir destas compartimentações, podem ser realizadas análises sobre as propriedades, potencialidades e limitações das áreas tidas como homogêneas, o que auxilia estudos que visam principalmente o planejamento territorial.

Os produtos de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para a realização de compartimentações do meio físico. Sua utilização se dá, normalmente, através de identificação dos elementos da paisagem, em geral relevo e drenagem, reconhecidos pelo fotointérprete. Através do reconhecimento das feições, da análise de seu arranjo espacial e de suas propriedades, pode-se separar unidades homogêneas da paisagem e preceder à análise das similaridades, onde se verifica se há unidades com as mesmas características, que devem, portanto, receber a mesma denominação.

A compartimentação permite que sejam sintetizadas as informações sobre o meio físico, uma vez que se parte do princípio de que no interior de uma área com características homogêneas, a partir dos critérios estabelecidos, diversas propriedades podem ser constantes. Uma vez sintetizadas, essas informações fornecem importantes subsídios aos administradores, planejadores e técnicos em geral que atuam nas questões relativas ao planejamento territorial.

## **2. OBJETIVOS**

A hipótese básica de trabalho, que norteia esta pesquisa, é a de que é possível elaborar cartas de suscetibilidade a determinado processo geológico, em uma área de estudo, por meio de levantamento de informações básicas sobre o meio físico, as quais estão diretamente associadas aos eventos geológicos e a forma de obtenção destas informações pode ser feita tanto em campo, quanto através de análises sistemáticas de produtos de sensoriamento remoto orbital.

Outro problema que surge, depois da coleta e interpretação das informações de caráter geológico-geotécnico, é de como armazená-las para que possam ser atualizadas e consultadas de maneira rápida e prática, para diferentes fins a que se destinem.

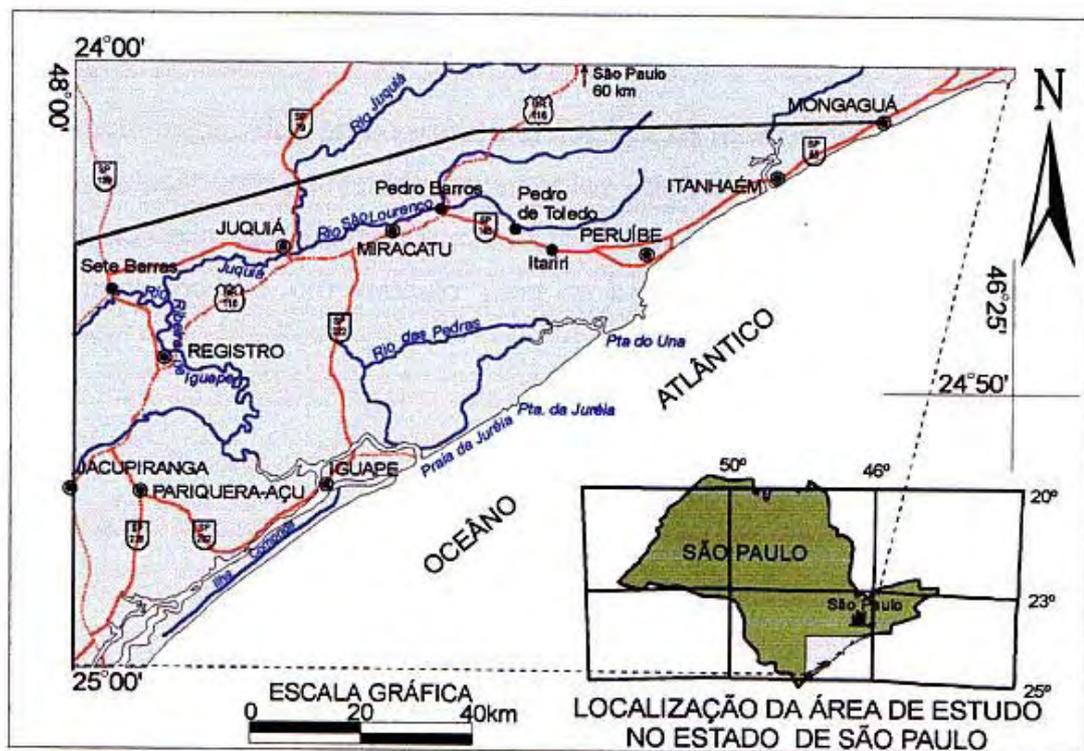
Logo, como objetivo principal desta pesquisa tem-se a verificação das hipóteses propostas acima, além de objetivos complementares associados:

- compartimentação fisiográfica de terrenos e criação de unidades armazenadoras de informações.
- implementação de um banco de dados espacial, que permita a resposta a questões relacionadas aos processos estudados.

### 3. DADOS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

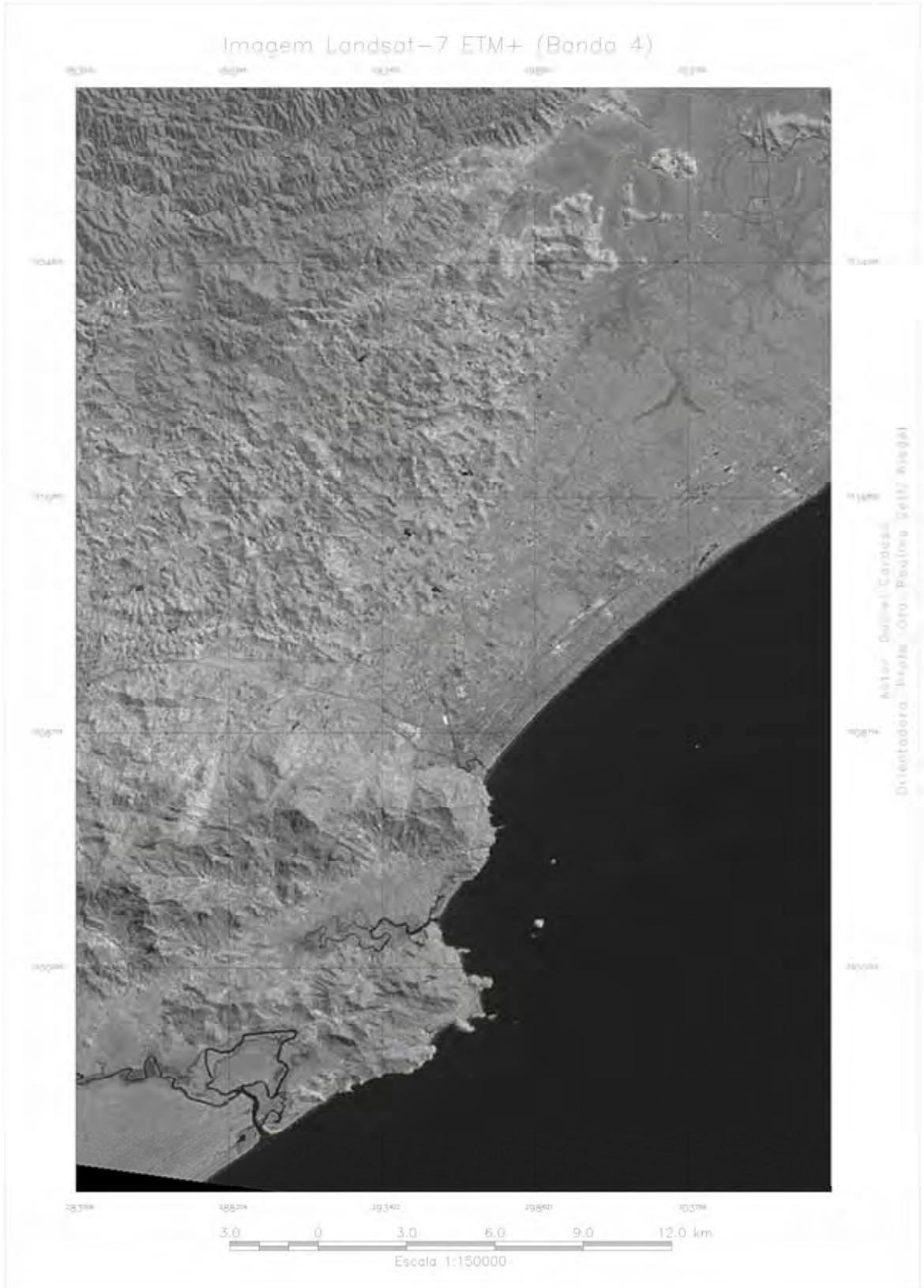
#### 3.1. Localização

Dentro da extensa área que compreende o litoral paulista, o trabalho se restringirá à compartimentação do município de Peruíbe (Figura 3.1 e 3.2), na porção sul do estado, onde existem interessantes contrastes geomorfológicos, para possibilitar a efetiva aplicação da metodologia.



**Fig. 3.1** – Localização do município de Peruíbe no litoral sul do Estado de São Paulo.

Partindo-se da cidade de São Paulo, as principais vias de acesso à área, são as Rodovias: Federal BR – 116 (Regis Bitencourt) e as estaduais SP – 160 (rodovia dos Imigrantes) ou SP – 150 (Via Anchieta), SP – 055 (Pedro Taques). As demais estradas vicinais pavimentadas são de acesso razoável a difícil, e unem municípios ou vilarejos a fazendas ou sítios.



**Fig. 3.2** – Limite do município de Peruíbe, sobreposto à banda 4 (contraste linear), do satélite ETM+ Landsat 7.

### 3.2. Clima

O clima da região enquadra-se nas características gerais do tipo subtropical úmido, sendo influenciado por duas massas de ar da vertente atlântica: a Massa Tropical Atlântica (Ta), quente e úmida, e a Massa Polar Atlântica (Pa), fria e úmida. Apresenta caráter mesotérmico, com incidência anual de chuvas, sem ocorrência de período seco.

Segundo a classificação de Köppen, para climas locais, observa-se a ocorrência de um clima tropical super úmido sem estação seca, ou com subseca nas regiões de planalto.

Nimer (1972) assinala que as temperaturas médias anuais na região do planalto e de 18°C a 20°C, e no litoral 22°C. A temperatura média mínima, do mês mais frio e inferior a 16°C, para toda a região. Já no mês mais quente, na baixada litorânea a temperatura chega a atingir máximas de 38°C a 40°C, e no planalto 30°C a 32°C.

Os três poços pluviométricos do DAEE, instalados na área de estudo, mostram uma precipitação média anual pouco superior a 3000mm. A média de dias chuvosos situa-se em 174 dias por ano, e o período de chuvas se inicia em dezembro e se estende até abril. O período com menos chuva é próximo ao mês de agosto.

### 3.3. Vegetação

Na área de estudo estão compreendidas duas grandes formações vegetais, com características bem distintas:

**3.3.1. Formações Florestais:** Este tipo de vegetação é um tipo de vegetação espontânea. Caracteriza-se pela predominância de espécies arbóreas, quase sempre agrupadas em manchas densas, e divididas na região em (Romarez, 1974):

*a – Floresta Latifoliada Tropical Úmida da Encosta:* sua maneira de ocorrência, é recobrando as escarpas da serra do Mar, e sua natureza é restritamente ligada ao relevo abrupto, que permite a distribuição em níveis, propiciando uma boa absorção solar. Outros dois fatores são de grande importância para a ocorrência deste tipo de vegetação na região: a umidade e a pluviosidade elevada. Os elementos formadores são: espécies arbóreas (canela, jatobá, sapucaia, jacarandá, caixeta, oiticica, cedro, ipê, louro pardo, etc.), palmeiras, orquidáceas, bromeliáceas e aráceas.

*b – Floresta Latifoliada Tropical Úmida:* caracteriza-se pela presença de espécies que necessitam clima quente e úmido para o seu desenvolvimento. Estão representadas por pteridófitas (samambaia-açu, xaxim), begônias, orquídeas, antúrios. Esta associada à floresta Tropical Latifoliada Úmida de Encosta e a floresta Tropical Latifoliada.

*c – Floresta Latifoliada Tropical:* este tipo de vegetação ocorre na região do planalto. Outro termo classificatório empregado é floresta Subcaducifólia Tropical. Alguns elementos representantes são a peroba, palmito, figueira branca, alecrim cedro rosa, cangerana, jatobá e paineira.

**3.3.2. Formações Litorâneas:** A vegetação da orla costeira apresenta-se sob vários aspectos, sendo influenciada pelas condições do solo, ação das águas marinhas e dos ventos. A flora que se desenvolve nos costões rochosos é composta por líquens, bromeliáceas, cactáceas e orquidáceas. A flora da costa arenosa é a mais expressiva, dividindo-se em vegetação pioneira das antedunas e vegetação das dunas e restingas. Nas áreas onde predominam solos lodosos (reentrâncias da costa, contornos de baías, estuários calmos de rios), encontram-se os manguezais.

Silva et al. (1977) descrevem a vegetação litorânea e agrupam a mesma da seguinte forma:

*a – Vegetação pioneira das antedunas:* representada por ervas e arbustos. As espécies desta região suportam a ação de fortes ventos, salinidade e, além disto, seu sistema radicular extenso permite sua melhor fixação na areia.

*b – Vegetação das dunas e restingas:* a associação das espécies características desta zona é denominada “jundu” e ocupa uma posição intermediária entre a mata tropical e a vegetação das praias. É caracterizada por árvores e arbustos de pequeno porte, constituindo uma associação densa e emaranhada.

*c – Manguezais:* o manguezal é restrito às regiões tropicais e possui uma adaptação formidável às condições contrastantes do ambiente. A região onde se instala o mangue possui solo lodoso de sedimentação mista, não apresenta consistência e grande deficiência em oxigênio e condições instáveis de salinidade e nível de água, devido ao alagamento causado pelas variações da maré. O manguezal divide-se em zonas de predominância de certas espécies, encontrando do mar para o interior os mangues vermelho, siriuba e branco.

### 3.4. Geologia Regional

As rochas que ocorrem na área de estudo fazem parte do Complexo Costeiro, unidade litoestrutural integrante da Província Mantiqueira em sua parte central, que engloba o sul do Espírito Santo, o sul e o sudeste de Minas Gerais, todo o Estado do Rio de Janeiro, o leste dos Estados de São Paulo e Paraná e parte do leste de Santa Catarina.

No Estado de São Paulo, o seu limite exterior são os sedimentos costeiros e o Oceano Atlântico e no interior o limite ocorre de forma estrutural por meio da Falha de Cubatão, com os metassedimentos do Grupo Açungui outra unidade litoestrutural integrante do domínio estudado (Figura 3.3).

O Complexo Itatins faz parte do Complexo Costeiro e compreende rochas de idade Arqueana, que ocorrem de maneira descontínua, na forma de partes preservadas de um complexo maior e ocupam as partes mais elevadas da Serra dos Itatins e de Peruíbe – Guaraú (AZEVEDO SOBRINHO, 1995).

O Complexo de Itatins constitui-se de uma grande dorsal leste-oeste com estrutura discordante da foliação geral das rochas do Complexo Costeiro, cuja direção é SW-NE. Seu contato ao norte é marcado pela falha transcorrente dextral de Itariri, a sul e a leste por sedimentos quaternários e pelo Oceano Atlântico, e a oeste por uma zona cataclástica, onde se encaixam o Rio do Peixe e o Rio Espirado. Este Complexo é formado por charnockítos, granulitos charnockíticos, hiperstênio-granodioritos, em suas porções mais elevadas e interiores, já nos costões e nas partes mais litorâneas são observados kinzigitos, sillimanita-granada-gnaisses, granada-biotita-gnaisses, além de rochas metabásicas migmatizadas em forma de veios, serpentinitos e granitos de anatexia (SILVA et al., 1977).

Este Complexo é formado predominantemente por gnaisses e migmatitos, além de rochas graníticas, que se encontram ao sul da falha de Cubatão. Os gnaisses, quando não migmatizados, são representados por biotita e/ou hornblenda gnaisses, gnaisses micáceos com granada e sillimanita e muscovita gnaisses com associações de epidioritos, metabasitos e mataultrabasitos, quartzitos e calcossilcatadas. Os migmatitos estão relacionados a processos de migmatização e granitização que ocorreram nos eventos termotectônicos Jequié, Transamazônico e Brasileiro, e possuem estruturas do tipo estromática, agmática, oftálmica e diatexítica, sendo o paleossoma constituído de gnaisses biotíticos e/ou hornblêndicos,

granatíferos, sillimaníticos e piroxênicos, sua estrutura é homogênea (ALMEIDA et al., 1984).

Os migmatitos de estrutura homogênea compreendem aqueles cujas estruturas predominantes são a *schliren*, nebulítica e *schöllen* e de maneira local e subordinada estão presentes as estruturas bandada, dobrada, flebítica, surreítica e ptigmática. A composição do neossoma é geralmente monzogranítica a granodiorítica, são leucocráticos, com granulação média a grossa e apresentam como minerais principais, microclínio, quartzo e plagioclásio (oligoclásio), além de biotita e hornblenda (DANTAS et al, 1987a). Podem estar submetidos à intensa granitização, e com xistosidade geralmente inexistente ou bandamento regular (SILVA et al., 1977).

Um outro grupo litológico distinto do anterior é representado por gnaisses bandados e oftálmicos, levemente migmatizados e granitóides diversos, com estrutura heterogênea (ALMEIDA et al, 1984).

Podem ser ainda encontradas como ocorrências esparsas no interior dessas rochas, lentes e cristas de quartzitos e mármore dolomíticos, além de rochas básicas e ultrabásicas metamorizadas e representadas usualmente por anfíbolitos, talcoxistos, serpentinitos e enderbitos ocorrendo sob a forma de antigos diques, lentes ou blocos (SILVA et al., 1977). Restam ainda migmatitos que não são classificados nem com homogêneos, nem como heterogêneos, devido a sua estrutura transicional, e que portanto são classificados como rochas migmatíticas não diferenciadas.

A foliação das rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico no Estado de São Paulo orienta-se de modo geral, paralelamente à costa ou à Falha de Cubatão, mas existem variações locais até quase transversais, como em Santos (ALMEIDA et al., 1984).

São rochas epimetamórficas de idade Pré Cambriana Superior e são essencialmente constituídas por metassedimentos siltico-argilosos e siltico-arenosos e quartzíticos, configurando-se de forma cíclica (SILVA et al., 1977). Além disto, ocorrem xistos e gnaisses, por vezes migmatizados, onde os xistos ocorrem próximos a zonas de falhas e a núcleos sinclinais em meio a gnaisses. Uma vez que não foi definida uma subdivisão estratigráfica ao conjunto, procurou-se separar rochas ectiníticas e migmatíticas, sob os nomes de Complexo Pilar e Embu, respectivamente, não representando pacotes

estratigráficos, mas sim níveis distintos dentro do Grupo Açungui (HASUI et al, 1980 apud ALMEIDA et al, 1984).

Esta unidade se estende desde o divisor dos rios Ribeira e Iguaçu, à oeste de Curitiba, até o oeste do Estado de Rio de Janeiro, ao longo de uma faixa de quase 600km de extensão com larguras variáveis da ordem de 100 km, no Paraná, e de 40-70 km, em São Paulo. Seu limite com as unidades litoestratigráficas de suas adjacências é configurado através de grandes estruturas, que são os falhamentos regionais de Taxaquara-Jundiuvira e Cubatão.

As rochas granitóides ocorrem sob a forma de corpos do tipo dique, stocks e batólitos, envolvidos pelo Complexo Granito-Gnáissico Migmatítico, ou pelo Grupo Açungui. O tipo mais comum é foliado, de composição quartzo-diorítica à granítica, exibindo porfiróides de microclínio de tamanho e grau de orientação variado. (ALMEIDA et al., 1984). O posicionamento destas rochas se tornou mais fácil devido às estruturas regionais, orientadas segundo SW-NE, quase sempre em núcleos de estruturas antiformais ou anticlinais (SILVA et al., 1977).

O limite com as encaixantes pode ser difuso e/ou abrupto, configurando caráter autóctone, parautóctone ou alóctone, estes corpos podem ser ainda considerados sintectônicos quando alojados durante uma fase de dobramentos. Já os corpos mais homogêneos e não foliados, de composição granodiorítica à granítica, de tamanho e forma variáveis e discordantes, são classificados como pós-tectônicos.

Os sedimentos recentes encontram-se amplamente distribuídos pela área estudada, formando uma extensa planície entre Peruíbe e Itanhaém, e são constituídos por sedimentos aluviais, de origem fluvial, que estão associados às calhas dos principais rios, sejam eles inseridos no planalto ou na planície costeira e também por sedimentos coluviais nas proximidades da encosta, separando os sedimentos arenosos atuais do Complexo Gnáissico-Migmatítico; além de sedimentos praias, marinhos, mangues e indiferenciados. Estes sedimentos são argilo-arenosos ou silto-arenosos, sendo que em porções localizadas ocorre um enriquecimento em argila, silte e matéria-orgânica (GIANNINI, 1987). Os sedimentos praias são representados por cordões litorâneos frontais e intermediários, assim como terraços marinhos. Os mangues se formam em porções mais meandantes das drenagens das planícies costeiras e ao longo de canais marinhos, sendo mais expressivos na foz dos grandes rios e em regiões estuarinas.

Outras unidades de idade plio-pleistocênicas e de grande ocorrência na área são a Formação Pariquera-Açu e a Formação Cananéia. A Formação Pariquera-Açu é caracterizada por sedimentos arenosos, sílticos e areno-argilosos, entremeados por níveis conglomeráticos centimétricos a métricos. Associa-se sua deposição a um ambiente fluvial, de rios que corriam diretamente sobre as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, devido ao fato destes sedimentos apresentarem uma superfície de discordância com este Complexo (SILVA et al., 1977). (Figura 3.3)

A Formação Cananéia assenta-se diretamente sobre os sedimentos conglomeráticos da Formação Pariquera-Açu e encontra-se sobreposta por sedimentos recentes, resultado do retrabalhamento de seus próprios sedimentos. É constituída por uma seqüência de sedimentos finos (argilo-siltosos), com grande quantidade de diatomáceas e poucos foraminíferos, na base, seguidos de sedimentos silto-arenosos, onde a freqüência de foraminíferos é abundante, estas duas seqüências são seguidas por areias finas e friáveis, que podem estar cimentadas por material ferruginoso. Como estruturas presentes podem ser observadas a estratificação plano-paralela, estratificação cruzada, acamamento irregular e estruturas limoníticas e de escorregamento. O ambiente de deposição sugerido é de transição, continental e marinho para a base, evidenciando uma transgressão, e regressão no topo, representado pelas areias finas (SILVA et al., 1977).

## MAPA GEOLÓGICO

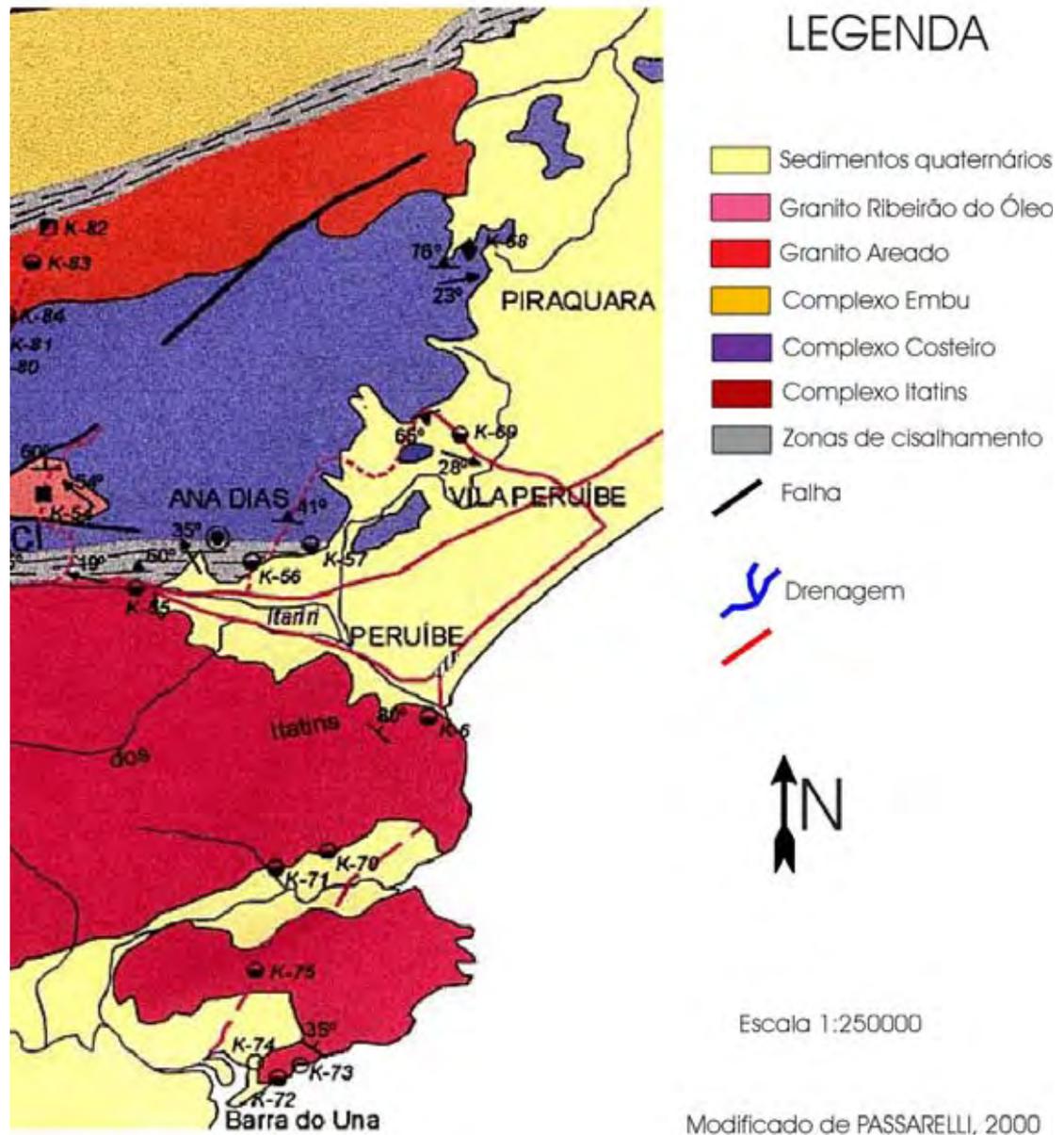


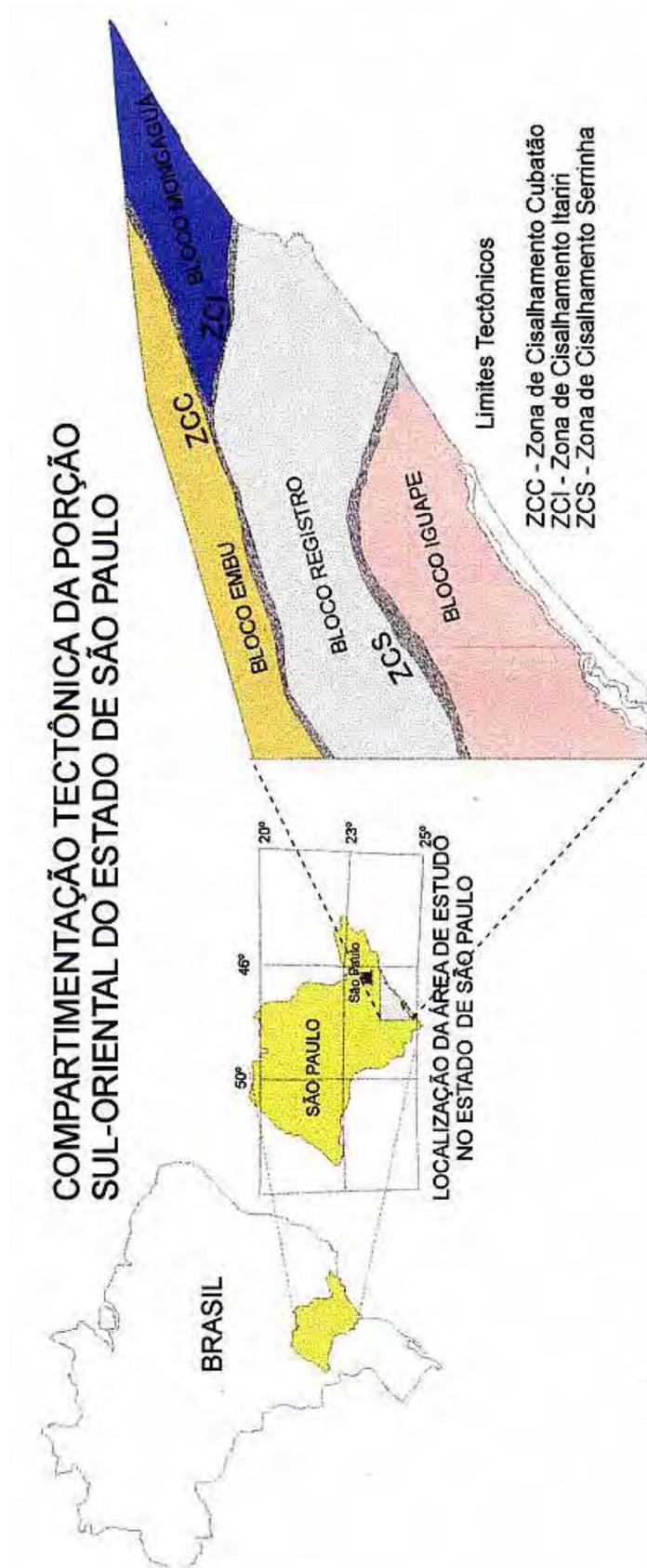
Fig. 3.3 - Mapa de geológico do município de Peruíbe.

### 3.4.1. Estrutural

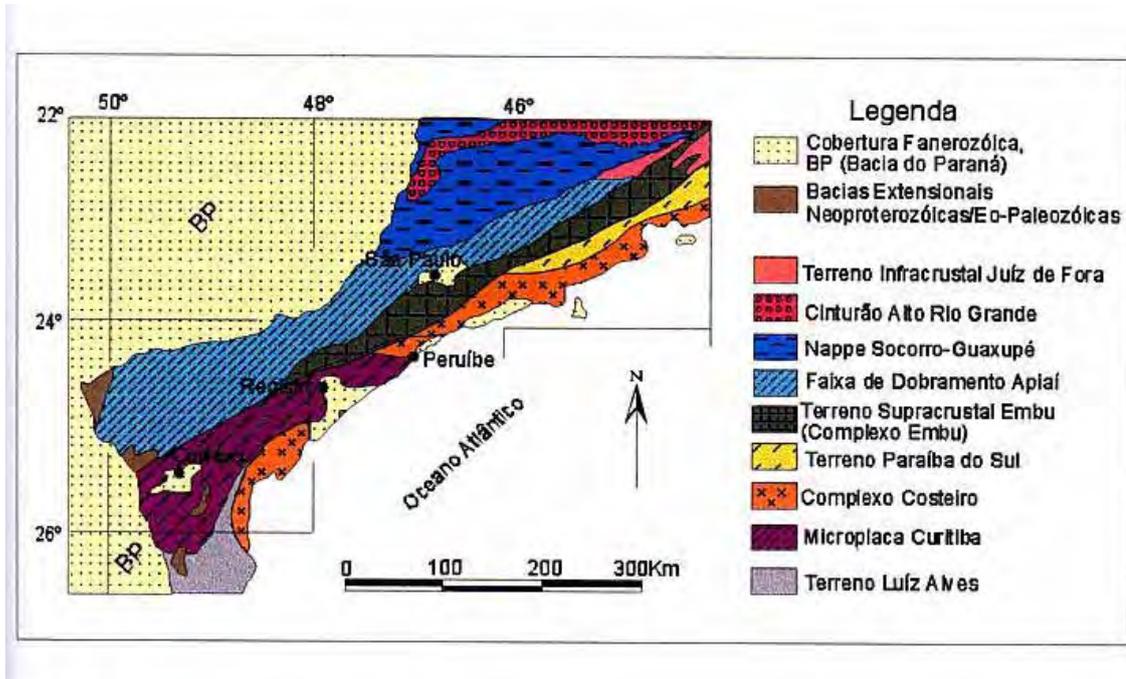
O embasamento cristalino pode ser dividido segundo compartimentos tectônicos delimitados através de grandes falhamentos, dentre eles os mais importantes para a região sul e sudoeste do litoral paulista, são as Zonas de Cisalhamento Cubatão, Itariri e Serrinha. Cada compartimento define blocos, com características tectono-estruturais distintas e são nomeados de Embu, Mongaguá, Registro e Iguape, conforme figura 3.4 e 3.5. (PASSARELLI, 2001)

As falhas se caracterizam pela presença de ultramilonitos a protomilonitos, com espessuras de até 2 km. Estas rochas são portadoras de marcante foliação cataclástica, com mergulhos de elevados a médios e lineação de atrito com mergulhos baixos. Tais falhas assumem um caráter transcorrente, e sua movimentação ora é dextral, ora é sinistral. Estas falhas são tardibrasilianas, já que muitas delas seccionam unidades dobradas e matamorfizadas do Proterozóico Superior. Sua distribuição não ocorre de maneira uniforme, mas se compõem de feixes de descontinuidades subparalelas e oblíquas, anastomosantes ou não, que possuem caráter regional. Movimentações com deslocamento inverso e empurrões podem ser assinalados para algumas falhas dessas faixas de cisalhamento, além de inúmeras outras feições de caráter normal, que estão relacionadas às estruturas transcorrentes, só que sua idade está relacionada à tectônica tracional mesozóico-cenozóica (ALMEIDA et al., 1984). Além das falhas, algumas estruturas maiores do tipo sinclinal e antiformal são reconhecidas e ocorrem associadas geralmente aos metassedimentos do Grupo Açungui e Grupo São Roque.

Fúlfaro et al. (1974) apud Giannini (1987) interpretam a origem das planícies costeiras paulista dentro de um modelo de compartimentação tectônico-estrutural da região segundo alinhamentos oblíquos ou transversais à costa, sendo então o litoral dividido em três grandes compartimentos: o central de Santos-Itanhaém-Peruíbe, separado a sul pela linha estrutural de Itatins da planície de Iguape-Cananéia, e a norte pelo grande alinhamento da Falha de Cubatão, onde a sedimentação costeira é de caráter restrito, apenas sendo expressiva nas imediações de Caraguatatuba.



**Fig. 3.4** – Compartimentação tectônica da porção sul-sudeste do Estado de São Paulo (PASSARELLI, 2000)



**Fig. 3.5** – Domínios tectônicos da região sudeste do Estado de São Paulo (CAMPOS NETO & FIGUEIREDO, 1995)

### 3.5. Geomorfologia

O Estado de São Paulo está dividido por Ponçano et al., (1981) em Províncias geomorfológicas, e estas por sua vez estariam divididas em zonas e subzonas, cada qual representando, em diferentes escalas, conjuntos de elementos homogêneos.

A estruturação dos compartimentos de relevo da região costeira paulista foi fortemente influenciada pela tectônica rúptil que afetou a borda do escudo, dividindo-o em blocos que foram colocados em posições altimétricas diversas, soerguendo velhas superfícies aplainadas, formando assim por ação de processos erosivos, a serra costeira com seus níveis escalonados e seus maciços insulares. A evolução da compartimentação morfológica da fachada atlântica se processou principalmente a partir do Cretáceo definindo-se em suas formas secundárias durante o Terciário. O Pleistoceno já encontrou a região costeira com uma forma não muito diferente da atual, ou seja, a superfície do Planalto Atlântico já estava definida, assim como os níveis intermediários dos espigões costeiros (RAMALHO, 1982).

Algumas características morfológicas são comuns a toda faixa litorânea paulista. Nenhuma drenagem da fachada atlântica atinge as formações sedimentares interiores, sendo os rios de forte gradiente e seus cursos encachoeirados. A maior penetração ocorre a sul com o Rio Ribeira de Iguape, devido à fragilidade das rochas do Grupo Açungui. As largas planícies de sedimentação existentes no sul evidenciam processos de emersão costeira diferencial, sendo mais acentuados no litoral sul.

Na área de trabalho são reconhecidas duas Províncias, segundo Ponçano et al. (1981), e são descritas a seguir:

### **3.5.1. Planalto Atlântico**

É uma região de terras altas, constituída por rochas cristalinas pré-cambrianas e paleozóicas, além de diques e intrusões básicas e alcalinas Terciárias e também pelas bacias sedimentares de São Paulo e Taubaté.

O planalto apresenta-se dissecado em uma série de superfícies de erosão de origem policíclicas, que por vez apresentam variações setoriais nas suas formas gerais de modelado e de posicionamento altimétrico devido às influências estruturais e sobretudo litológicas, visto que a erosão diferencial desempenhou um papel importante na elaboração dessas superfícies (RAMALHO, 1982).

Almeida (1964) descreve as zonas do Planalto de Ibiúna e de Guapiara como as regiões morfológicas representantes na área e elementos integrantes da Província.. O Planalto de Ibiúna é uma pequena unidade de relevo, individualizada no interior do Planalto Atlântico, sendo representada por elementos da superfície Japi não deformada, maturamente dissecado, sustentado por serras graníticas com altitudes de 1100m, e com seus vales na latitude de 850 a 900m. É afetado por uma superfície de erosão mais moderna. Os metassedimentos que integram parte da área influenciam o relevo devido às características estruturais (xistosidade, foliação, falhas). As formas de relevo características desta faixa são constituídas por mar de morros, morros paralelos e morros com serras restritas; no limite com a Província Costeira são comuns as escarpas festonadas, permeadas por morrotes baixos. O Planalto de Guapiara é uma continuidade do Planalto de Ibiúna a sul e é estruturado sobre rochas gnáissico-

graníticas e metassedimentos, possui suas formas relacionadas as anteriores, citadas no Planalto de Ibiúna.

Em toda a área de planalto observa-se a abertura de alvéolos localizados sobre linhas de fraturas NE-SW, e sua origem está relacionada à estruturação tectônica, mais aos processos erosivos que sobre ela atuam. O relevo comum destes alvéolos erosivos é o de forma de colinas onduladas. Segundo A. G. Pires Neto et alii (1979) apud Ramalho (1982) a formação dos alvéolos é explicada pelo estrangulamento da drenagem que desencadeia um intenso processo de erosão fluvial, resultando no alargamento lateral do vale do rio com o desenvolvimento de uma planície alveolar entulhada por sedimentos em sua parte lateral.

### **3.5.2. Província Costeira**

Definida por Almeida (1964) como a área do Estado de São Paulo drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico, sendo uma zona serrana contínua, que próximo ao mar cede lugar a uma seqüência de planícies de origens variadas.

#### **3.5.2.1. Escarpa**

Na região serrana as escarpas mostram-se abruptas e festonadas, com anfiteatros desenvolvidos separados por espigões em seqüências sucessivas. Esses anfiteatros estão geralmente acompanhados por material coluvionar preenchendo os seus vales. O desnível é da ordem de 800 a 1200m da borda do Planalto Atlântico até as Baixadas Litorâneas. A delimitação do Planalto Atlântico e da Província Costeira é bem marcada pelo relevo abrupto de escarpas da Serra do Mar; a oeste de Itanhaém este padrão de relevo é interrompido e a partir deste trecho o limite do planalto segue a cumieira das principais serras, como a de Paranapiacaba (PONÇANO et al., 1981).

A escarpa da Serra do Mar ao longo do trecho do litoral paulista apresenta uma série de variações nas suas feições, regidas pelas estruturas locais. No trecho próximo a Serra de Itatins, no município de Peruíbe, a escarpa está desfeita em uma série de patamares, e por detrás da baixada de Itanhaém ela adquire uma configuração retilínea, recuada cerca de 15

km da costa. Nesta área a escarpa desenvolve-se sobre migmatitos heterogêneos e sobre xistos e metarenitos do Grupo Açungui, sendo estes últimos responsáveis pela formação de patamares erosivos de altitude entre 300-430m e 400-480m, a oeste do rio Itariri. O rio Itariri rompe a escarpa instalando-se no contato dos metarenitos com os migmatitos abrindo uma série de alvéolos, não verificando neste trecho a presença de cones aluviais. Os esporões são comuns quando grandes rios tais como o rio Mambu e Branco seccionam longitudinalmente a escarpa (RAMALHO, 1982).

#### 3.5.2.2 Serrania Costeira

A Serra de Paranapiacaba é uma zona da Província Costeira, que segundo Almeida et al (1964) é uma zona de transição entre a Província Costeira e o Planalto Atlântico. Onde o rio São Lourenço, afluente do Rio Juquiá, define o nível de base regional, caracterizando um relevo formado a partir da diversidade estrutural, e pelo recuo das escarpas. Seu fronte devido à erosão acentuada assume aspecto montanhoso; as formas mais características são definidas por montanhas com vales profundos, morros com serras restritas e morros paralelos e menos freqüente mar de morros. (PONÇANO et al., 1981). A maior parte do fronte da Serra de Paranapiacaba é de constituição granítica e as fraturas definem o traçado das menores drenagens. Os falhamentos transcorrentes são de importância no modelado, pois definem depressões topográficas e condicionam vales de rios, que delimitam blocos litologicamente diferenciados, por exemplo o Falhamento de Itariri que delimita a Serra de Itatins da Serra de Paranapiacaba, além do Falhamento de Cubatão que possui grande importância na estruturação regional, gerando um sistema de relevo de baixa amplitude com serras restritas. A oeste do rio Preto na região de Jatobatuba os morros isolados possuem morfologia bastante mamelonizada, sendo formados sobre granitos, sendo muitos desses relevos representantes de ilhas colmatadas pela planície.

A Serra de Itatins é uma área alongada, com direção E-W com relevo acidentado, com valores de até 1100m, sendo o substrato rochoso constituído por migmatitos e granulitos.

#### 3.5.2.3. Planície Costeira

As planícies litorâneas desenvolvem-se descontinuamente, subordinadas às reentrâncias da frente da serra e são separadas em dois setores, segundo critérios morfogenéticos. No litoral norte, onde os esporões serranos, os maciços e morros litorâneos isolados prolongam-se diretamente nas águas oceânicas, formam-se costas altas intercaladas por pequenas planícies e enseadas. Já no litoral sul, as escarpas afastam-se consideravelmente da orla, contribuindo assim para a formação de costas retilíneas, desenvolvidas a partir de cordões litorâneos progradantes (PONÇANO et al., 1981).

A baixada litorânea de Peruíbe-Itanhaém-Mongaguá é um subcompartimento da região sul do litoral, cuja sedimentação é caracterizada pela presença de terraços pleistocênicos marinhos, por uma ampla planície flúvio-marinha e por praias, cordões de dunas e manguezais. Em seus 16 km de extensão aproximada, a planície com sua sedimentação fluvial que recobre os sedimentos marinhos que antes deveriam aproximar-se da base da escarpa, e que hoje afloram só nas áreas próximas a encosta.

As áreas de sedimentos flúvio-marinhos apresentam-se como terraços elevados cerca de 6m acima do nível do mar atual, cobertos por vegetação de mata e alagáveis nas épocas de cheias, sua drenagem tem escoamento dificultado, apresentando traçados sinuosos ou levemente retilíneos. Estes terraços ocupam parte do sopé da serra na região de Boturuçu e as planícies que se situam entre os morros Jatobatuba, que são as áreas de Araraú, Caepupú e lagoa Boacica. Os sedimentos fluviais que recobrem os terraços flúvio-marinhos possuem espessura máxima de 1,30m e estão relacionados à dinâmica atual das redes de drenagem que formam o Rio Itanhaém, estas drenagens são os rios Preto, o Itariru, o rio Trambotica, o rio Aguapeu, o Mambu e o Branco. No sopé das serras dão continuidade às rampas de colúvio (RAMALHO, 1982).

As formações marinhas compreendem quatro tipos: os sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia, que formam terraços elevados já dissecados em parte em colinas tabulares ou levemente arredondadas; os terraços elevados com cobertura eólica, formando cordões dunares; os terraços elevados sem cobertura eólica e as praias atuais. Nos lugares que estes terraços são cortados por grandes drenagens, suas bordas apresentam-se festonadas. Em direção à costa, os terraços da Formação Cananéia passam sem quebra de relevo para terraços mais recentes. A NW de Peruíbe, os terraços da Formação Cananéia estão estriados em superfície, em forma de antigos cordões de dunas.

#### 4. MÉTODO

O método da pesquisa nasce com a necessidade de se estabelecer verdades universais. Essas verdades são plenamente alcançáveis com ajuda de objetivos claros e pré-estabelecidos, que conduzem o pesquisador pelo caminho da obtenção desta verdade. Este caminho é a origem da palavra método que, em grego, tem este significado e que nos dias atuais, também pode ser interpretada, com o sentido de “andar em busca de” e não só o caminho.

Criam-se leis, que são hipóteses gerais que serão testadas e receberão apoio experimental, descreverão relações e regularidades encontradas em certos tipos de fenômenos. Alves-Mazzotti & Gewandsznajder (1998) esclarece que a ciência não consiste em um mero acúmulo de dados, mas sim numa busca da ordem presente na natureza, que pode ser retratada através de testes e comprovações sucessivas que nos condicionam à organização dos pensamentos e verdades.

Uma teoria é uma reunião de leis, hipóteses, conceitos e definições interligadas e coerentes e a partir das teorias é possível, inclusive, deduzir novas leis a serem testadas. Uma teoria é passível de correção e aperfeiçoamento, podendo ser substituída por outra teoria que explique melhor os fatos.

Viegas (1999) diz que atualmente configuram-se três grandes correntes formais de metodologia, duas principais fundamentadas em dois grandes filósofos: a indutiva experimental (Francis Bacon), a dedutiva (Descartes) e a terceira que é a fusão dos dois métodos, a hipotética-dedutiva (Popper).

Designa-se raciocínio dedutivo àquele que procede do geral para o particular, do princípio para a consequência. Premissas verdadeiras levam sempre a conclusões verdadeiras, porque a conclusão já está na premissa.

O método indutivo segue o caminho inverso do dedutivo: parte da experiência de casos particulares percebe-se que esses casos se repetem da mesma forma e daí infere que o que se aplica aos casos particulares, pode ser estendido a todos os demais casos de mesma natureza. Neste método, as conclusões são mais amplas que as premissas, dos casos observados se passa para os casos não observados, portanto o conhecimento pode ser ampliado, mas se deve atentar para ilegitimidade das conclusões.

Quando são usados os dois métodos em conjunto, completando-se um ao outro, parte-se de uma observação da realidade, chega-se a uma abstração por meio de um modelo lógico: é a fase dedutiva. Então, o modelo criado na fase anterior é submetido à comprovação empírica, facilitada pelas hipóteses emitidas sobre o fato. Esta é a dinâmica de aplicação do método dedutivo.

A Geociências agrega ainda outros conceitos para sustentação de suas propostas metodológicas. Por exemplo, o conceito de modelo, que diz que um modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma idéia estruturada em função ou relação ao espaço e ao meio físico, inclui também argumentos sobre o mundo real por meio de representações espaciais e temporais.

O método utilizado nesta pesquisa é o hipotético-dedutivo, onde por meio de levantamento de informações reais do meio físico (perfil de alteração, descrição geológica e geomorfológica), infere-se atributos do meio físico e estabelece-se a sua relação com a ocorrência de eventos geológicos. Estes eventos são modelos estudados em determinada área e, posteriormente, analisam-se as outras áreas potenciais para a ocorrência do mesmo tipo de evento.

## **4.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1.1. Compartimentação fisiográfica**

A compartimentação de terrenos é uma técnica que tem por definição a divisão de terrenos, em diversas unidades, com aspectos homogêneos. A utilização desta técnica pode ser empregada em diferentes tipos de trabalho, desde avaliação territorial para fins específicos, como para monitoramentos de diferentes características do meio físico.

Esta metodologia de trabalho foi empregada por Vedovello (1993) na região de Ubatuba, para a avaliação da potencialidade do terreno para a ocupação urbana, com a elaboração de uma carta geotécnica criada a partir de unidades homogêneas do terreno.

Na região de Curitiba, o mesmo procedimento de identificação de unidades homogêneas do terreno, com características distintas foi utilizada por Theodorovicz (1994) para a elaboração de um atlas com informações básicas sobre o meio físico, fornecendo subsídios para o planejamento territorial.

Através da mesma metodologia foi realizado o estudo da Região Metropolitana de Campinas (IG, 1999), que teve como objetivo selecionar áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos, sendo consideradas as características geoambientais e físicas de cada unidade homogênea do terreno fotointerpretada.

Desde o início do século passado, muitos autores utilizam-se dessas técnicas de compartimentação de terrenos, e criam-se duas abordagens, baseadas em critérios e elementos de análise de terrenos diferentes. Uma de essência mais ecológica, outra de essência mais geomórfica. E até a década de setenta, surgiram inúmeras particularizações metodológicas, conceituais e terminológicas para a compartimentação de terrenos. (Vedovello, 2000).

A abordagem ecológica contextualiza os elementos da paisagem, geomorfológicos e não-geomorfológicos, tais como vegetação e feições de natureza antrópica, reconhecendo o padrão de organização destes elementos e a sua combinação dinâmica.

Neste trabalho, será dada ênfase à abordagem fisiográfica, que deriva da geomórfica. Verstappen (1977) utiliza o termo fisiografia, na avaliação de terrenos para fins agrícolas e estudo de solos. Posteriormente, geólogos e engenheiros passam a utilizar este termo, na área de planejamento territorial, quando o elemento ambiental de análise é representado por solos, rochas, relevos e eventualmente vegetação.

A avaliação integrada do meio físico surge na década de oitenta, com o aumento da preocupação com os problemas ambientais, e a utilização de trabalhos de compartimentação de terrenos de caráter fisiográfico aumenta consideravelmente. Porém, assim muitos termos, conceitos e métodos dificultam a adoção de uma sistemática e podem gerar freqüentes confusões entre mapeamento de relevo e identificações de unidades fisiográficas.

Existe, é verdade, uma associação evolutiva entre os diversos elementos do meio físico, a qual vai determinar as unidades fisiográficas e sua forma de expressão. A ocorrência de uma determinada unidade de relevo, em qualquer situação taxionômica, não determina sozinha, a ocorrência dos demais elementos fisiográficos (geológicos, pedológicos, etc) (VEDOVELLO, 2000). O termo fisiografia será utilizado para referir-se à análise integrada dos elementos do terreno, exceto os de natureza antrópica, sem se pretender uma discussão terminológica ou conceitual.

Uma compartimentação fisiográfica expressa uma divisão. A região de análise será dividida em áreas de tamanhos variados que apresentem no seu interior característica homogêneas de seus elementos de análise. A área adjacente a uma outra deve ser distinta, ou seria então unida a uma área de características semelhantes.

A escala de compartimentação é adequada segundo a determinação de classes relativas para as unidades, desta forma, em escalas maiores determinadas classes englobam outras e em escalas menores outras classes de unidades são englobadas.

Vedovello (2000) descreve que a compartimentação fisiográfica é efetuada através da análise dos elementos componentes do meio físico, que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetacional, etc., e da identificação de aspectos locais desses elementos, ou seja, das suas formas de ocorrência.

A análise da forma de ocorrência dos elementos componentes do meio físico ou elementos fisiográficos vai depender ainda do nível taxionômico e/ou hierárquico considerado. A classificação hierárquica entre classes de unidades, quando determinada por uma relação natural específica, é referida como taxionômia. Quando essa classificação é função da escala, é apenas determinada como hierarquia. Dependendo do nível hierárquico ou taxionômico considerado, há predomínio de determinados elementos fisiográficos sobre outros, como critério ou fator de compartimentação, estas variações podem estar associadas às variações na forma de ocorrência de um ou alguns determinados elementos fisiográficos.

#### 4.1.2. - Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Compartimentação Fisiográfica de Terrenos.

O produto de sensoriamento remoto representa o instrumento de análise, já que reflete a organização temporo-espacial do meio físico, sendo possível a identificação de limites fotointerpretados. Na seleção do produto de sensoriamento remoto deve-se levar em consideração as características espectrais, espaciais e temporais das imagens de satélite, as características específicas sobre as cenas, tais como ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, azimute das imagens e as particularidades das áreas de estudo.

Como a análise dos elementos texturais é baseada na observação direta da imagem, focando-se para a análise do relevo e a rede de drenagem, e estes elementos são determinados

pelo efeito de sombreamento da imagem, logo os fatores a serem considerados na escolha de um produto TM-Landsat são o ângulo de elevação solar e a banda espectral a ser utilizada.

Os ângulos de elevação solar mais baixos favorecem o sombreamento, de modo geral. E em regiões de relevo acidentado, como no caso da Serra do Mar, opta-se por um ângulo de elevação solar um pouco maior para diminuir zonas com sombreamento excessivo, que poderiam comprometer a análise da cena.

É realizado um processo sistemático de fotointerpretação, baseado em análises sistemáticas dos elementos que integram o produto, visando uma abordagem geológica e geomorfológica. Este procedimento, realizado geralmente em fotografias aéreas, depende de um conhecimento prévio das formas da paisagem que irão ser individualizadas, bem como das características texturais associadas a estas formas.

Veneziani e Anjos (1982) utilizam esta metodologia que descreve etapas que devem ser seguidas na fotointerpretação e apresentam as características e atributos de análise para os produtos de sensoriamento remoto, representados em imagens de satélite.

Como critério fotointerpretativo fundamental e mais profundamente discutido em Vedovello (2000), os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que regem a sua evolução. Assim, cenários específicos são criados em cada região, devido a diferentes respostas, nas texturas da imagem de satélite, representadas por diferentes arranjos dos elementos texturais.

A identificação de diferentes texturas na imagem de satélite irá corresponder a diferentes zonas homogêneas do meio físico.

A identificação de zonas homogêneas em imagens fotográficas é feita a partir de critérios abordados por Soares e Fiori (1976) e Veneziani e Anjos (1982) e que serão descritos a seguir. Lembrando que a distinção destes elementos e sua individualização, é uma função da escala e da resolução espacial dos produtos LANDSAT e do contraste entre objetos ou feições da superfície do terreno.

Em relação ao elemento de textura, segundo Soares e Fiori (1976), este é a menor superfície contínua e homogênea que se pode distinguir na imagem e passível de repetição, podendo ser, por exemplo: uma árvore, um segmento de drenagem ou de relevo. A maneira de arranjo desses elementos texturais é denominada textura.

O termo estrutura pode ser definido como a organização espacial ordenada dos elementos texturais. (ex: retilínea, curvilínea, com formas geométricas ou não).

A forma é a expressão da disposição espacial dos elementos com propriedades comuns.

Cada material imageado na superfície possui uma reflectância específica, em cada banda do espectro, que nas imagens do LANDSAT, são expressas em 256 níveis de cinza e que funcionam também como elemento de análise.

O par luz/sombra nas imagens de satélite, é formado pela iluminação oblíqua do Sol, na superfície do terreno e a análise deste elemento também nos leva a interpretações diversas sobre a distinção de zonas diferenciadas nas imagens.

A partir das características que cada elemento de análise de terreno possui em um produto do LANDSAT, devem ser estudadas as propriedades de cada elemento de forma. Estas propriedades são exploradas também por Veneziani & Anjos (1982) e complementadas pela Tabela 4.1, que permitem a delimitação de zonas homólogas, onde devem ser observadas as seguintes propriedades:

- *Propriedades qualitativa dos elementos texturais:* Através dessa propriedade define-se o elemento de análise quanto à sua natureza (ex: drenagem, relevo, elemento biótico ou antrópico);
- *Densidade de textura:* É uma propriedade quantitativa, que expressa a quantidade de elementos texturais por área imageada. Seu caráter de avaliação é relativo;
- *Estrutura:* é uma propriedade qualitativa e refere-se à organização espacial dos elementos texturais;
- *Grau de estruturação:* Também é uma propriedade quantitativa, e está relacionada com a lei de ordenação dos elementos texturais. Uma forma fracamente estruturada representa uma lei de ordenação mal-definida. Para uma forma estruturada, a lei de ordenação possui um grau de definição maior.

- *Ordem de estruturação*: Relaciona-se com a organização dos elementos texturais. É condicionada pela história evolutiva do terreno e da paisagem.
- *Padrão de drenagem*: Envolve a descrição básica do tipo de ocorrência de padrão de drenagem e seu arranjo textural.

**TABELA 4.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FORMAS TEXTURAIS EM IMAGENS DE SATÉLITE.**

Propriedade Textural	Caracterização
Tipo de elemento de textura	Define qual espécie de elemento textural esta sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal
Densidade de textura	Refere-se à quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa, a densidade textural normalmente é descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.
Arranjo textural	Refere-se à maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. Assim, a análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais, segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dendrítico ou anelar, etc.
Grau de estruturação	Refere-se à maior ou menor evidência ou definição da organização espacial dos elementos texturais, em função do seu arranjo textural. Esta propriedade pode ser qualificada em classes tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido, bem definido, etc.
Ordem de estruturação	Refere-se à complexidade de organização dos elementos texturais. Assim, sua classificação é dada em função da ocorrência ou não de uma ou mais estruturas sobrepostas.

Modificado de Vedovello (2000)

Os limites traçados na imagem representam as zonas homólogas, e esses limites podem ser definidos, quando acompanham feições claramente identificáveis no terreno, em abruptos, progressivos ou transicionais.

#### 4.1.3. - Movimentos de massa.

Movimentos de massa, ou movimentos coletivos de solos e de rochas, têm sido estudados amplamente em diversas áreas do nosso país, sempre relacionados a áreas físicas de relevo acidentado, pois este tipo de estudo é importante na compreensão dos agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista sócio-econômico, no planejamento urbano e em medidas preventivas

Os fenômenos que regem os movimentos de massa envolvem diferentes processos, possibilitando grande quantidade de classificações. As classificações de movimentos de massa buscam diferenciar movimentos de solo e/ou rocha, de acordo com a geometria e velocidade. (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Dois sistemas principais de classificação são atualmente adotados, o nacional e o internacional. O contexto nacional apresenta as classificações de Vargas (1966), que classifica os movimentos de massa em rastejos, movimento de “tálus”, escorregamentos de blocos de rochas e matacões, em 1999 (Tabela 4.2) este mesmo autor aprimora a sua classificação. Augusto Filho (1992) propôs quatro classes e processos de escorregamentos: rastejos (creep), escorregamentos (slides), queda (falls) e corridas (flows) , segundo exposto na Tabela 4.3.

**TABELA 4.2 – CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA PROPOSTA POR VARGAS (1999)**

	<b>Classe</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Ocasião</b>	<b>Prevenção</b>
<b>Movimentos plásticos</b>	Rastejos de camadas superficiais	Movimentos lentos de rastejo mobilizando parte da resistência ao cisalhamento	Movimento constante acelerado durante época chuvosa	Impermeabilização da superfície. Drenagem superficial.
	Deslizamento de talus	Movimentos contínuos de depósitos de escorregamentos anteriores	Corte no pé do talus durante época chuvosa	Subdrenagem com drenos horizontais ou galerias.
<b>Deslizamento ao longo de superfície de ruptura</b>	Deslizamentos planares	Deslizamento de manto relativamente delgado sobre a superfície da rocha	Ruptura repentina durante ou depois de chuvas maiores que 100 mm/dia.	Impermeabilização da superfície e drenagem superficial, mais o retaludamento, bermas de pé de talude, muros de arrimo por gravidade ou ancoragem
	Deslizamentos rotatórios	Deslizamento de solos residuais ou maciços saprolíticos, eventualmente com blocos de rocha	Ao fim dos períodos de chuva	
<b>Deslizamentos estruturais de maciços rochosos</b>	Deslizamento de cunhas ou placas	Deslizamento ao longo de descontinuidades planas	Ruptura repentina durante ou depois de chuvas maiores que 100 mm/dia.	Ancoragem de rocha, estruturas ancoradas.
	Deslizamentos de maciços muito fraturados	Deslizamentos dos maciços rochosos muito fraturados em blocos, às vezes envolvidos em lama	Não necessariamente ao fim dos períodos de chuva.	
	Queda de rochas	Desmoronamento de blocos de rocha instáveis		
<b>Avalanches</b>	Fluxo de lama	Erosão ou liquefação de camadas superficiais	Durante tempestades maiores que 50 mm/hora em épocas chuvosas de dias chuvosos.	Não existe prevenção
	Fluxo de blocos de rocha	Demolição hidráulica de maciços rochosos muito fraturados e decompostos		

**TABELA 4.3 – CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA PROPOSTA POR AUGUSTO FILHO (1999)**

<b>Processos</b>	<b>Dinâmica/Geometria/Material</b>
Rastejos (creep)	- vários planos de deslocamento (internos) - velocidade muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade - movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - solo, depósitos, rocha alterada/fraturada - geometria indefinida
Escorregamentos (slides)	- poucos planos de deslocamento (externos) - velocidades médias (m/h) e altas (m/s) - pequenos a grandes volumes de material - geometria e materiais variáveis: Planares → solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares → solos espessos e homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha → solos e rochas com dois planos de fraqueza
Queda (falls)	- sem planos de deslocamento - movimento tipo queda livre ou em plano inclinado - velocidades muito altas (vários m/s) - material rochoso - pequenos a médios volumes - geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corrida (flows)	- muitas superfícies de deslocamento - movimento semelhante ao de um líquido viscoso - desenvolvimento ao longo das drenagens - velocidades médias a altas - mobilização de solo, rocha, detritos e água - grandes volumes de material - extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

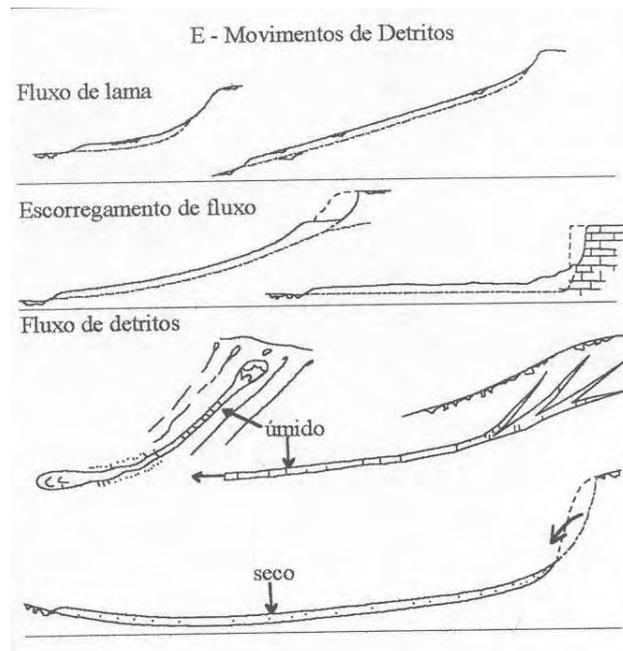
A classificação proposta por Guidicini & Nieble (1984), descrita a seguir, detalha os movimentos de massa, em específico os escorregamentos, que constituem o principal tipo de movimento de massa da área.

Os *escoamentos* são representados por deformações e movimentos de natureza contínua, através de uma superfície definida, abrupta ou não. Este conceito não leva em consideração a velocidade, pois quando, analisado este fator em relação ao tipo de processo, tem-se uma divisão de classes em rastejos e corridas

Os *rastejos* são movimentos lentos e contínuos, que envolvem grande quantidade de material, por exemplo, um talude inteiro. A movimentação é provocada pela gravidade, e por expansão e retração do material, gerando movimento, essas variações são causadas pela temperatura e presença de água nos espaços intergranulares do material.

Mudanças no teor de água de determinado volume de material podem provocar o deslocamento do centro de gravidade, iniciando a movimentação.

As *corridas* são escoamentos rápidos, devido à presença de água, que diminui o atrito entre as partículas e fluidifica o meio, tornando-o líquido a massa de solo e/ou rocha. Esta fluidificação do meio pode estar associada à adição de água ao meio, argilas expansivas/rápidas e vibrações. São diferenciadas pelo tipo de material transportado (areia, silte, argila, rochas e detritos) e pelo grau de fluidez. (Figura 4.2)



**Fig. 4.2** – Principais tipos de movimentos em forma de fluxo (Hutchinson, 1988).

Os *escorregamentos* possuem um volume bem definido e são movimentos rápidos, de curta duração. São ainda classificados em rotacionais e translacionais.

Os *escorregamentos* consistem no movimento rápido de massas de solo e/ou rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora de um talude (natural, corte ou aterro) INFANTRI JR. & FORNASARI FILHO, (1998).

Os escorregamentos translacionais ocorrem em massas de solo ou rocha por este possuírem anisotropias acentuadas no seu interior, apresentadas por planos de movimentação correlacionáveis a descontinuidade que corresponde ao contato do solo e a rocha, ou ainda solo residual e saprolito.

*Escorregamentos translacionais de rocha* – movimentos de massas rochosas ao longo de descontinuidades ou planos de fraqueza preexistentes. Ocorrem na forma de blocos isolados ou massas rochosas. As superfícies de movimentação associam-se a estruturas geológicas do tipo estratificação sedimentar, xistosidade, gnaissificação, acamamento, diaclasamento, falhas e juntas. O tipo de material de preenchimento desses planos e o seu espaçamento são fatores de análise.

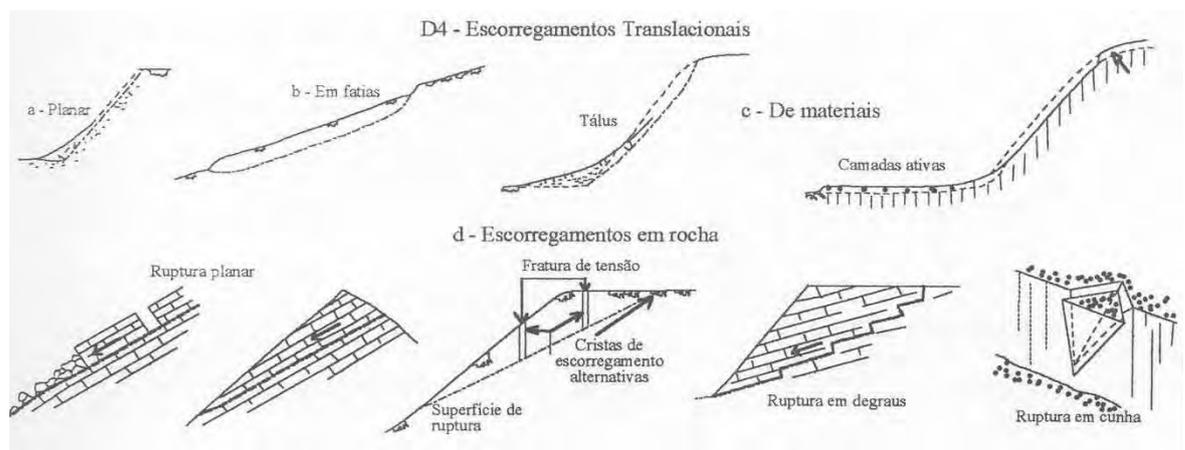
*Escorregamentos translacionais de solo* – são condicionados por feições estruturais do substrato (discordâncias e descontinuidades) O movimento é de curta duração e a geometria é de natureza tabular. Os escorregamentos translacionais de solo ocorrem, em geral, dentro do manto de alteração ou regolito, cuja espessura está relacionada a condicionantes geológicos (litologia, material de alteração, etc...) e geomorfológicos (forma de encosta, declividade, etc...).

Um perfil de substrato típico, de uma rocha granítica mostra como evolui, com o avanço do processo de alteração, o intemperismo de clima tropical úmido. (Figura 4.3).



**Fig. 4.3** – Perfil típico de intemperismo na região Sudeste do Brasil, em rocha do tipo granítico. (Hutchinson, 1988)

*Escorregamentos translacionais de solo e rocha* – são caracterizados, principalmente, pelos movimentos de corpos de tálus, pois há a necessidade de um volume significativo de rocha no interior da massa. (Figura 4.4)

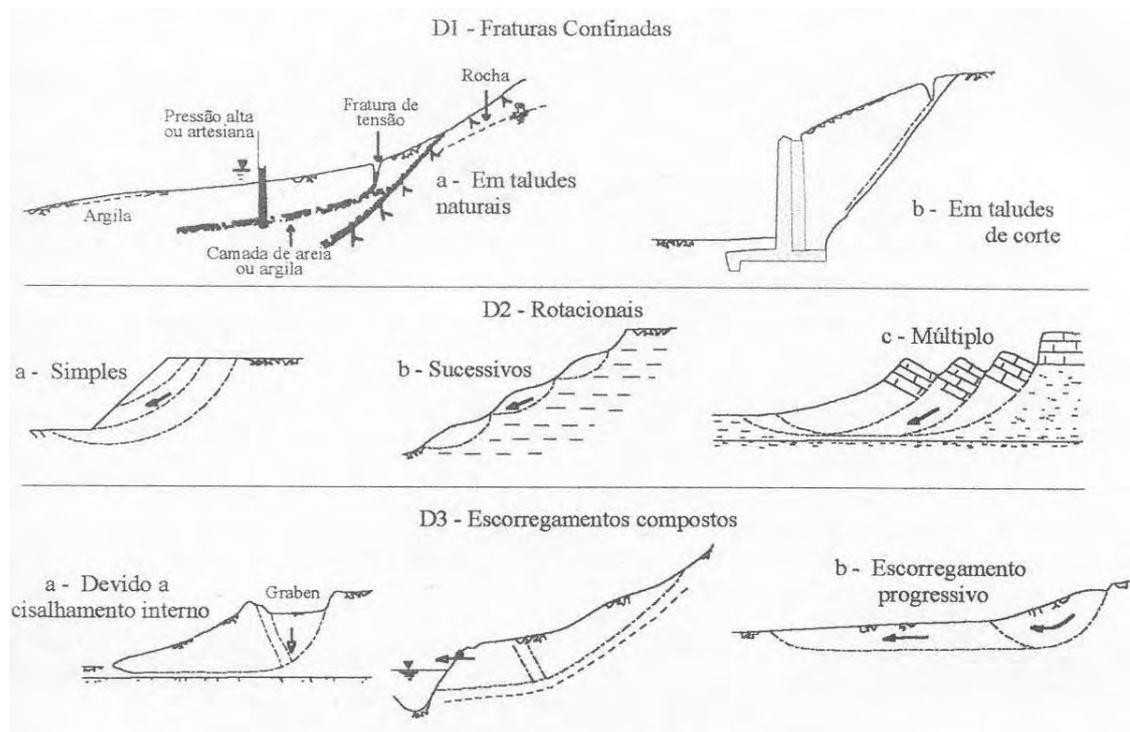


**Fig 4.4** – Principais tipos de rupturas translacionais. (HUTCHINSON, 1988)

Outro tipo de escorregamento é o rotacional, que é a instabilização gerada em uma massa de solo muito espessa, individualizada de um lado pelo talude, por outro lado pela superfície de ruptura. A forma e a posição dessa superfície são diretamente influenciadas pelas pressões neutras e pelas variações de resistência ao cisalhamento.

O colapso da massa ocorre por uma ruptura ao longo de uma superfície de escorregamento e rotação em torno de um centro de um arco. A força responsável pelo início do movimento é o peso da cunha.

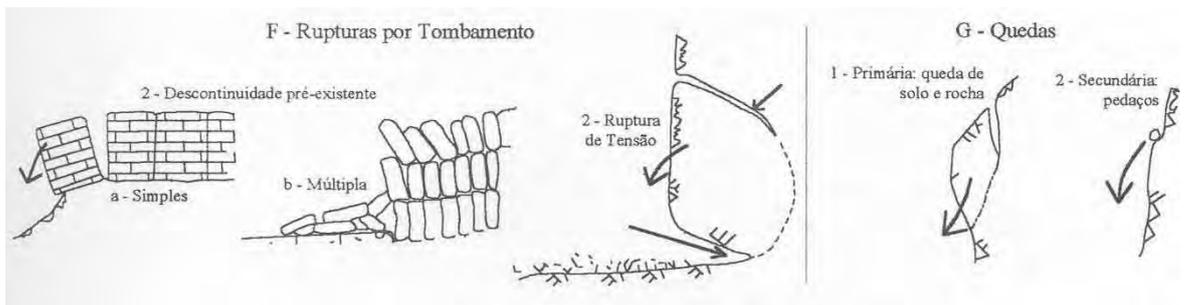
O escorregamento rotacional de solo é um fenômeno verificado nas encostas brasileiras, mobilizando geralmente o manto de alteração. São movimentos de grandes dimensões, causados pelo deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha, ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da superfície da rocha. (Figura 4.5).



**Fig. 4.5** – Principais tipos de rupturas rotacionais e compostas (HUTCHINSON, 1988).

Ainda pode-se citar outros tipos de movimentos, não relacionados a escorregamentos, como a queda de blocos e detritos que ocorrem em penhascos verticais, ou taludes muito íngremes, deslocados do maciço por intemperismo e que podem cair por ação da gravidade.

Uma queda de blocos pode ser definida por uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação. A queda pode ainda ser combinada com outros movimentos do tipo saltos, rotações e fragmentações por impacto. (Figura 4.6)



**Fig. 4.6** – Principais tipos de tombamentos e quedas (HUTCHINSON, 1988)

#### 4.1.3.1 Fatores dos movimentos de massa.

A dinâmica natural, bem como condicionantes e agentes que deflagram os escorregamentos, estão associados a fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos específicos modificados ou não pela ação do homem; logo é difícil organizar as principais causas e agentes.

Os agentes e as causas de movimentos de massa são descritos em GUIDICINI & NIEBLE (1976). São feitas duas distinções, a primeira em agentes predisponentes e efetivos (preparatórios e imediatos); a segunda diferenciação é entre causas, que podem ser internas, externas e intermediárias. (Tabela 4.4)

**TABELA 4.4 – AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA, SEGUNDO GUIDICINI & NIEBLE (1976)**

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
A G E N T E S	PREDISPONETES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original</li> </ul>	
	EFETIVOS	PREPARATÓRIOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento</li> </ul>
		IMEDIATOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chuva intensa, fusão de gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc</li> </ul>
C A U S A S	INTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• efeito de oscilações térmicas</li> <li>• diminuição dos parâmetros de resistência ao imtemperismo</li> </ul>	
	EXTERNAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mudança na geometria do sistema</li> <li>• efeito de vibrações</li> <li>• mudanças naturais na inclinação das encostas</li> </ul>	
	INTERMEDIÁRIAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elevação do nível peizométrico em massas “homogêneas”</li> <li>• elevação da coluna de água em descontinuidades</li> <li>• rebaixamento rápido do lençol freático</li> <li>• erosão subterrânea retrogressiva (piping)</li> <li>• diminuição do efeito de coesão aparente</li> </ul>	

Varnes (1978) *apud* Augusto Filho (1994) afirma que raramente um escorregamento ocorre devido a um único fator, na deflagração do processo, vários fatores em diferentes intensidades são desencadeados. Os fatores podem ser agrupados naqueles que aumentam as solicitações e nos que diminuem a resistência do terreno. (Tabela 4.5)

**TABELA 4.5 – AÇÃO DOS FATORES DEFLAGRADORES DOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS VARNES (1978)**

<b>AÇÃO</b>	<b>FATORES</b>	<b>FENÔMENOS NATURAIS/ANTRÓPICOS</b>
<b>AUMENTO DAS TENSÕES CISALHANTES</b>	<b>REMOÇÃO DE MASSA (LATERAL OU DA BASE)</b>	- erosões provocadas por rios, geleiras, ondas marítimas; - movimentos de massa anteriores: queda de blocos, escorregamentos; - atividades mineradoras, fluxo de água subterrâneo com dissolução e remoção de materiais.
	<b>SOBRECARGA</b>	- agentes naturais: chuva, gelo, tálus, percolação de água; - agentes antrópicos: construção de aterros, edificações, barragens
	<b>SOLICITAÇÕES DINÂMICAS</b>	- terremotos, vibrações produzidas por máquinas, tráfego, explosões.
	<b>PRESSÕES LATERAIS</b>	- água em fraturas, expansões argilo-minerais.
<b>REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS INERENTES AO MATERIAL E ESTADO INICIAL</b>	- composição, textura, presença e orientação das descontinuidades, orientação do talude, geometria; - características geomecânicas do material; - tensões iniciais.
	<b>MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS</b>	- ação do intemperismo (redução na coesão e atrito), elevação do nível d'água, mudanças na estrutura, como no caso do amolgamento de argilas.
	<b>OUTRAS CAUSAS</b>	- enfraquecimento devido rastejo progressivo; - ação das raízes e buraco de animal.

Pode-se ainda citar Cruden & Varnes (1996) que dividem em geológicas, morfológicas, físicas e humanas as causas e agentes que deflagram os escorregamentos.

**TABELA 4.6 – CAUSAS DE ESCORREGAMENTOS, SEGUNDO CRUDEN & VARNES (1996)**

<b>CAUSAS DE ESCORREGAMENTOS</b>	
G E O L Ó G I C A S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- material fraco</li> <li>- material susceptível</li> <li>- material de alteração</li> <li>- material descontínuo</li> <li>- material com juntas e fissuras</li> <li>- orientação adversa das descontinuidades de massa (acamamento e xistosidade)</li> <li>- orientação adversa das descontinuidades estruturais (falha, inconformidade, contato, etc.)</li> <li>- contraste na permeabilidade</li> <li>- contraste na rigidez (material denso sob material plástico)</li> </ul>
M O R F O L Ó G I C A S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- levantamentos tectônicos</li> <li>- recuo glacial</li> <li>- erosão fluvial de sopé de talude</li> <li>- erosão por ondas do sopé de talude</li> <li>- erosão glacial do sopé do talude</li> <li>- erosão da margem lateral</li> <li>- erosão subterrânea</li> <li>- deposição de carga no talude ou em sua crista</li> <li>- remoção da vegetação</li> </ul>
F Í S I C A S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- chuva intensa</li> <li>- rápido derretimento de neve</li> <li>- precipitação excepcionalmente prolongada</li> <li>- colapsos rápidos</li> <li>- terremotos</li> <li>- erupções vulcânicas</li> <li>- ação do congelamento e descongelamento</li> <li>- variação do tamanho continua</li> </ul>
H U M A N A S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- escavação do talude ou sopé deste</li> <li>- carga na crista do talude</li> <li>- colapsos</li> <li>- desmatamento</li> <li>- irrigação</li> <li>- mineração</li> <li>- vibração artificial</li> </ul>

As vertentes são elementos geomorfológicos que marcam por meio de uma superfície inclinada e dinâmica que conecta a linha do divisor de água e o fundo do vale. É

também o elemento morfológico, onde está inserido o processo em estudo. Dentre os seus atributos estão a declividade, amplitude e a forma.

A declividade é a relação entre a amplitude e o comprimento da rampa, expressa em graus ou porcentagem. Os escorregamentos geralmente ocorrem associados as maiores declividades.

A amplitude é o desnível vertical local da forma, subtraindo-se a cota do topo pela cota base.

A forma da vertente é classificada pela sua geometria retilínea, côncava e convexa, ou ainda pelo conjunto de duas ou mais formas. Mas, matematicamente, é obtida através dos ângulos da declividade da encosta. Uma encosta que não apresenta variação em seus ângulos é designada retilínea, quando o valor dos ângulos decresce para baixo no perfil esta encosta é côncava (curvatura negativa), este tipo de encosta é importante para o processo em estudo, pois além de concentrar o fluxo superficial de água, é também responsável pela concentração de materiais depositados (colúvio/tálus), os valores dos ângulos aumentam para baixo no perfil esta encosta é convexa (curvatura positiva).

Outro fator, que altera a dinâmica natural de um talude são as alterações antrópicas, por meio de cortes e aterros, que modificam as condições de segurança e sua estabilidade em relação a ocorrências de movimentos de massa.

A pluviometria influi diretamente no processo de movimentos de massa, mas a sua ação pode ser instantânea ou progressiva. Quando sua ação é instantânea, sua intensidade é alta, causa linhas de fluxo com geração de forças de percolação, erosão e aumento das pressões nas fraturas. Já, a ação progressiva das chuvas altera os parâmetros do substrato, provoca o aumento do peso do solo e redução da coesão. Essa saturação progride por meio de frentes de saturação de avanço vertical ou lateral, avançam pela força de gravidade e por difusão e estão condicionadas pela textura e estrutura do substrato, declividade da encosta, cobertura vegetal e estado prévio de saturação. (BARROS, 2001) (Tabela 4.7).

**TABELA 4.7 – FATORES RELACIONADOS À PRESENÇA DA VEGETAÇÃO, SEGUNDO GRAY & LEISER (1982) APUD BARROS (2001)**

<b>FAVORÁVEIS</b>	<b>DESFAVORÁVEIS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- redistribuição da água proveniente da chuva</li> <li>- acréscimo da resistência do solo devido às raízes (reforço mecânico do solo e escoramento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- efeito alavanca</li> <li>- efeito cunha</li> <li>- sobrecarga vertical</li> </ul>

Em áreas suscetíveis aos movimentos gravitacionais de massa, são acelerados e ampliados os processos de instabilização, com uso e ocupação de forma desordenada. O homem é o principal responsável por este fator, que é agravado pela má distribuição de renda e falta de planejamento básico para o processo de urbanização do meio físico. (Quadro 4.1)

**QUADRO 4.1 – POTENCIALIZAÇÃO DO RISCO A PARTIR DE AÇÕES ANTRÓPICAS SEGUNDO CERRI (1993), MODIFICADO.**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- cortes acentuados em relação a declividade natural;</li> <li>- execução de aterros sem compactação</li> <li>- eliminação da cobertura vegetal;</li> <li>- concentração das águas pluviais e das águas servida, vazamentos de redes;</li> <li>- sobrecarga causadas pelo adensamento urbano;</li> <li>- acúmulo de lixo e entulho;</li> <li>- cultivo de espécies que favorecem a instabilidade das encostas</li> </ul>
---

4.1.4. - Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa em uma determinada área física.

Cientistas físicos definem um risco natural como a probabilidade de uma condição estável aceitável poder mudar abruptamente, ou como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente perigoso no interior de uma área em um período de tempo.

A última é a definição mais amplamente aceita para risco natural e para mapas que representem sua distribuição em uma região

Modelos regionais de predição a movimentos gravitacionais de massa, geralmente, tentam identificar aonde os processos podem acontecer em uma dada região baseado em um conjunto de características do meio físico, estes modelos fornecem informações das encostas potencialmente instáveis.

Dessa forma, diferencia-se de um inventário de processos, que são mapas que consistem em um catálogo de processos ocorridos em um intervalo de tempo, que pode ser definido ou não. Mas como, tais modelos não incorporam diretamente tempo de ocorrência, magnitude, velocidade e energia cinética, logo, eles não podem ser definidos corretamente como modelos de risco.

Cada tipo de movimento de massa merece diferentes tratamentos e requer pesquisas separadas, baseadas em definições distintas de risco de escorregamentos.

Devido às limitações conceituais e operacionais, muitos mapas de risco à movimentos gravitacionais de massa poderiam ser melhor definidos como mapas de suscetibilidade a processos (BRABB, 1989). Neste trabalho, o termo mapa de suscetibilidade a processos será utilizado para definir áreas propensas a ocorrência de dois tipos de movimentos de massa específicos, no caso escorregamentos translacionais e queda de blocos.

Este trabalho também, tem como objetivo, não se ater a uma única encosta e estudar os depósitos desta encosta e sim, promover uma análise e avaliação das condições de estabilidade de áreas com diversos taludes, no interior de uma área física ainda maior que a primeira.

#### 4.2. - Hipóteses básicas

- Os colapsos de encostas deixam características geomorfológicas discerníveis, e a maioria pode ser reconhecida, classificada e mapeada em campo ou por produtos de sensoriamento remoto.
- Escorregamentos são controlados por leis mecânicas que podem ser determinadas empiricamente ou estatisticamente. Os fatores de instabilidade (condicionantes) ligados direta ou indiretamente ao colapso da encosta, podem ser coletados e usados para construir modelos preditivos.
- O entendimento de colapsos ocorridos no passado ou colapsos recentes, são também necessários para modelar o risco, pois os futuros colapsos serão similares e terão princípios de instabilidade semelhantes.
- A ocorrência de escorregamentos pode ser inferida de investigações heurísticas, computadas por meio de análise de informações ambientais ou

inferida de modelos físicos. Um terreno pode ser zoneado em classes de risco ranqueadas de acordo com diferentes probabilidades.

#### 4.2.1. - A unidade de mapeamento.

A avaliação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa requer a seleção preliminar de unidades de mapeamento adequadas, e entende-se este termo, como uma porção da superfície do terreno que contém um conjunto de condições de superfície, que o difere das unidades adjacentes por meio de limites definidos.

As unidades de terreno são baseadas na premissa que no ambiente natural as interrelações entre materiais, formas e processos resultam em limites que freqüentemente refletem diferenças geológicas e geomorfológicas.

A seleção da unidade de mapeamento apropriada depende de inúmeros fatores: o tipo de movimento de massa a ser estudado; a escala de investigação; a qualidade, resolução, escala e tipo de informação temática requerida; e ainda a disposição de informações de gerenciamento adequadas e ferramentas de análise.

Independente da técnica utilizada na divisão do território, faz-se lembrar, que as operações e a migração entre os diferentes tipos de unidades podem ser realizadas por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e que as limitações de cada representação podem ser reduzidas escolhendo-se o método apropriado para avaliação.

#### 4.2.2. - Modelagem de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

Método para ranquear os fatores de instabilidade de taludes e designar diferentes níveis de suscetibilidade aos processos. Ainda, podem ser qualitativos ou quantitativos e diretos ou indiretos.

Os métodos mais importantes propostos na literatura podem ser agrupados em poucas categorias principais e nomeados abaixo:

1. Mapeamento de suscetibilidade geomorfológico;
2. Análise do inventário de escorregamentos;
3. Método heurístico ou base indexada;

4. Modelos baseados estatisticamente (funcional);
  5. Modelos físicos e geotécnicos.
- 
1. Mapeamento geomorfológico de suscetibilidade a escorregamentos é direto e qualitativo que releva a habilidade do investigador de estimar os colapsos de encostas atuais e/ou potenciais..
  3. A aproximação heurística, baseada no conhecimento “a priori” de todas as causas de escorregamentos e seus fatores de instabilidade da área sobre investigação, é indireto, e principalmente qualitativo, e depende de quão bem o investigador entende o processo geomorfológico atuante na superfície do terreno. Os fatores de instabilidade são ranqueados e ponderados de acordo com sua importância esperada ou assumida como causa do movimento de massa.

O método heurístico é o mais subjetivo dos métodos onde um especialista decide o tipo e o grau de suscetibilidade para a área em análise, utilizando o mapeamento direto ou indireto. No mapeamento direto o grau de suscetibilidade tem como base os levantamentos em campo e o mapa geomorfológico detalhado do terreno. A partir destas informações, são definidas unidades comuns (polígonos) com base nas prováveis causas e fatores de instabilidade. O mapeamento indireto baseia-se em técnicas de integração de dados, como por exemplo a técnica de suporte à decisão AHP (*Analytical Hierarchy Process*), onde o analista determina pesos maiores para as classes e parâmetros mais relevantes (Barredo et al., 2000).

A vantagem deste método é que cada polígono delineado no mapa pode ser avaliado separadamente, baseado nas suas características únicas. Entretanto, é um método que consome grande quantidade de tempo e depende diretamente da experiência e do conhecimento de quem está avaliando (Barredo et al., 2000).

Devido à grande subjetividade presente, tanto na elaboração dos mapas intermediários, quanto na determinação dos pesos das classes e parâmetros, o mapa de suscetibilidade final apresenta alto grau de incerteza. Além disso, a reprodução do mesmo fica comprometida em função das regras de decisões que podem variar amplamente entre pesquisadores.

#### 4.2.3. - Modelagem do processo no Sistema de Informação Geográfica

A modelagem é realizada com os condicionantes naturais que estão envolvidos no processo. No caso de escorregamentos, seriam a declividade, perfil da vertente, grau de fraturamento, cobertura vegetal, e espessura da cobertura do solo.

No caso da declividade ela será obtida através do mapa base, onde se tem as curvas de nível cotadas, com o auxílio de rotinas específicas do software IDRISI (Eastman, 1999), com a utilização da interpolação pela rede irregular de triângulos (TIN) . Uma vez gerada a carta de declividade , este dado será um atributo dos compartimentos fisiográficos .

O mapa de fraturas será gerado através da interpretação de imagens de sensoriamento remoto, complementados pela carta base. As fraturas estão relacionadas aos segmentos retilíneos de drenagem de primeira e segunda ordem e podem ser interpretadas e digitalizadas diretamente em tela, com o auxílio do software SPRING 4.0.

As informações do banco de dados podem ser cruzadas através da metodologia de árvore lógica de decisões estudada em Carvalho, (1996). Todos os cruzamentos possíveis são programados, de acordo com expressões previamente selecionadas, denominadas regras. Estas regras levam à reclassificação direta dos dados. Exemplo de uma tabela de regras para o estudo de suscetibilidade a escorregamentos translacionais no município de Itanhaém. (COLOGNA, 2003) (Quadro 4.2).

**Quadro 4.2** – Estrutura de uma árvore lógica para escorregamentos no município de São Sebastião (COLOGNA, 2003)

Declividade	Forma da encosta	Espessura de solo	Grau de fraturamento	Potencial de uso/ cobertura do solo	Grau de susceptibilidade	Numero da regra obtida
Muito Baixa	→ Convexa	→ Profunda	→ Todos	→ Todos	→ Muito Baixa	1
Baixa	→ Convexa	→ Profunda	→ Todos	→ Todos	→ Baixa	2
Média	→ Convexa	→ Profunda	→ Todos	→ Todos	→ Baixa	3
	→ Concava	→ Média	→ Pouco Frat.	→ Todos	→ Médio	4

### 4.3 - Sistemas de Informações Geográficas

Sistemas de Informação Geográfica são poderosas ferramentas de coleta, armazenamento, tratamento e disponibilização de dados do mundo real (Burrough, 1986). Este sistema é capaz de gerar respostas a problemas de natureza geográfica, através de um banco de dados espaciais (Cowen, 1988).

Segundo Devine e Field (1986), são sistemas de gerenciamento de informações que permitem exibir mapas de informações gerais. A definição de Smith (1987) também é muito apropriada para este trabalho, pois segundo este autor trata-se de sistema de base de dados, no qual estes dados possuem uma indexação espacial, e uma série de procedimentos é criada com a finalidade de responder a perguntas sobre utilidades espaciais.

Estes sistemas integram elementos principais que possuem uma informação espacial e um atributo conectado a esta informação. Estes elementos apresentam-se na forma de pontos, linhas, áreas e matrizes de dados, já os atributos são dados de natureza alfa-numérica.

A hierarquização destes elementos obedece à determinada arquitetura. Câmara et al (1996) dizem que no nível mais próximo ao usuário, está a interface homem máquina que define como o sistema será manipulado. No nível médio são definidos os mecanismos de processamento de dados espaciais. No nível mais interno do SIG há o controle do sistema de gerenciamento do banco de dados geográficos, controle de armazenamento e recuperação das informações espaciais e de seus atributos.

Muitas definições de SIG referem-se as suas quatro funções básicas: entrada, saída, armazenamento e análise, onde as três primeiras existem como suporte da última, que se constitui no verdadeiro propósito da criação do sistema. Desta forma, é aqui descrito o modelo de quatro componentes, segundo Goodchild (1997):

#### a.1 Entrada

A entrada de dados em SIG é um procedimento que deve ser primeiramente muito bem pensado e organizado. A entrada de dados deve ser georreferenciada e a base de suporte do SIG não pode haver erros. Estes erros podem ser gerados através da forma de obtenção de uma base digital eles nascem na digitalização, vetorização e escanerização dos dados, independentemente do meio de representação dos elementos de um SIG, seja ele raster ou vetorial.

Câmara et. al. (1996) escrevem sobre a entrada de dados em um SIG, que pode ser realizada de três formas: via caderneta de campo, é o mais antigo dos métodos de obtenção de informações para a montagem de um SIG, e consiste na aquisição de dados relativos à topografia, geologia, etc. que são armazenados e posteriormente sua entrada no sistema é feita manualmente. Atualmente este método também é facilitado por meio de GPS, tornando-o mais rápido e prático.

Os dados podem ser digitalizados via mesa, quando já são dados pré-existentes, é mais trabalhoso, pois se deve atentar para digitalização correta para SIG, identificando linhas, nós, topologia e objetos. A escanerização é outra maneira de entrada de dados, por meio de

scanners e sistemas de varredura, estes dados são convertidos para modelos vetoriais ou raster.

Por último, a maneira mais prática de entrada de dados em um SIG é a importação de arquivos, bases digitais, ou até mesmo, bancos de dados inteiros já preparados, prontos para serem manipulados e operados pelo usuário. Cabe salientar que isto só é possível em regiões com grande disponibilidade de dados, o que não acontece para grande parte do território nacional.

### a.2 Saída

As feições cartografadas nos mapas podem ser exibidas e identificadas nos mapas de diferentes formas: símbolos, cores, tamanhos e textos.

A escala dos arquivos de saída tem que ser compatível e coerente com as escalas dos arquivos de entrada.

Os planejamentos da saída gráficos dos resultados derivados da análise de um SIG exigem cuidados, pois se sabe que estes produtos cartográficos destinam-se diretamente ao planejamento de atividades governamentais, institucionais e até mesmo educacionais. Devem ser claros e organizados segundo as normas cartográficas, pois serão lidos e interpretados por profissionais de diversas áreas.

### a.3 Armazenamento

O primeiro passo no armazenamento de dados espaciais é a distinção do tipo de dado em vetorial e raster, pois há uma variação entre padrões de sistemas de representação.

A representação raster organiza os dados de acordo com um endereço espacial, representados através de uma matriz de dados, enquanto que a representação vetorial organiza-os em objetos. Muitos sistemas, inclusive o usado neste trabalho, manipula os dois tipos de dados de acordo com o problema em análise e a forma de abordagem pretendida. Pode-se imaginar que cada objeto da representação vetorial está superimposto e correlacionado com uma matriz de dados. Estes objetos podem ser indexados e um elo entre

os dois sistemas é formado, aceleram-se as respostas e o cruzamento entre as informações é ampliado.

Os dados vetoriais podem ser estruturados e classificados, de acordo com a sua natureza, em entidades pontuais, lineares e poligonais.

A forma de representação dessas entidades varia de acordo com ela; as entidades pontuais são representadas por um par de coordenadas, as lineares por dois ou mais pares. Já as poligonais correspondem a um conjunto de entidades lineares, onde os pares de coordenadas finais e iniciais são os mesmos.

Na implementação dos dados em SIG, pode haver a necessidade de se realizar a conversão entre os formatos vetorial e raster para atender a objetivos específicos. Um exemplo é a transformação de dados pontuais, por interpolação, em superfícies contínuas, ou então, dados escaneizados podem ser vetorizados.

Problemas na conversão existem, e os erros podem ser gerados, como exemplo de erro, pode-se citar a conversão de formato vetorial em raster, onde o sistema gera erros por falta de precisão, um ponto terá um pixel correspondente no formato raster, e as coordenadas geográficas deste ponto serão transferidas para o pixel central, é pouco provável que a localização do ponto original coincida com o centro do pixel. As linhas seguem o mesmo raciocínio, e o “efeito escada” pode ser gerado de acordo com a resolução do sistema.

Os polígonos seguem dois passos. No primeiro passo, os arcos que limitam os polígonos são convertidos como as linhas. Logo após, os pixels interiores são registrados com um atributo apropriado.

Os algoritmos de cruzamento de diferentes planos de informação tornam-se executáveis de maneira mais simples na representação raster, pois a superimposição das matrizes que formam um polígono é mais simples, do que, se imaginarmos as duas arestas de dois polígonos sucintos que se cruzam e geram muitos outros novos polígonos sem representação para o usuário, mas que o sistema irá reconhecer como novos polígonos.

Logo o tipo de representação a ser adotada e usada irá depender do tipo e natureza dos dados que estão sendo manipulados, do padrão da amostragem regular ou irregular, da resolução do produto e objeto de representação.

#### a.4 Análise espacial

Se uma base de dados contém uma representação digital dos dados, e estes dados possuem uma estrutura correlacionável em seus diferentes níveis e modelos de informações, tem-se então um modelo espacial de informação. Esta estrutura de dados permite a união de diferentes conjuntos de dados, ampliando o padrão de respostas.

A eficiência do modelo espacial de dados e a sua clareza envolvem a compreensão do modelo em todos os níveis de informação, e a modelagem do processo a ser estudado, em função da quantidade e tipo de informação incluindo a relação objeto versus informação neste critério. A homogeneidade dos dados é fator relevante na análise da consistência do modelo.

Para se fazer uma análise espacial, o usuário conta com o auxílio de funções de processamento, como por exemplo, a análise geográfica que envolve funções como superposição, ponderação, relação de vizinhança, de pertinência, entre outras.

##### 4.3.1. - Banco de Dados Espacial

Um banco de dados (BD) consiste em uma coleção de dados que mantém uma inter-relação entre si. O conjunto de programas, que são utilizados para acessar os dados pertencentes ao banco é designado Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), cujo principal objetivo, é mostrar-se eficiente para retirada, armazenamento e atualizações em diferentes níveis de um BD. Um SGBD deve atentar para a redundância e inconsistências dos dados, além de acessibilidade e isolamento dos dados em níveis, pois para cada tipo de usuário pode e deve haver restrições, para que possa ser mantida a segurança e a integridade dos dados.

A estratégia de implementação mais adequada para as informações deste trabalho é a Dual. Um SIG implementado desta maneira utiliza um SGBD relacional para fazer o armazenamento dos atributos convencionais dos objetos geográficos, na forma de tabelas e as representações geométricas (linhas, nós e áreas) são armazenadas em arquivos, ligados em comum por um identificador. A ordem das consultas é um parâmetro importante neste tipo de

estratégia, onde as restrições espaciais são tratadas fora do SGBD, e as restrições convencionais são operadas no interior da estrutura.

Os níveis mais baixos mostram como os dados são organizados, em nível físico tem-se a descrição dos dados em detalhe, e no conceitual a relação entre os dados armazenados. O nível conceitual é de acesso aos administradores do BD, que tem decisão sobre quais informações devem ser mantidas e suas relações. Os dados armazenados devem estar protegidos de acessos não autorizados, destruição, alteração intencional ou inclusão acidental.

A arquitetura em camadas ou níveis conduz a sistemas secundários especializados para cada tipo de dado geográfico. Este sistema possui quatro camadas. A primeira camada é formada por dois sub-sistemas: o de manipulação, responsável por oferecer funções para definição e manipulação de geo-objetos, não apresenta ao usuário problemas relacionados a representação (vetor x raster), e o sub-sistema de visualização, que oferece funções para a apresentação dos objetos.

Na segunda camada ou nível, os dados são divididos e separados em componentes espaciais e convencionais, e oferece também serviços de manipulação e visualização de representações geométricas e manipulação de geo-campos e geo-objetos. Na terceira camada, há o armazenamento, recuperação e edição elementar. Os sub-sistemas desse nível dividem a informação em representações geográficas e em atributos convencionais.

A quarta camada implementa o modelo, de armazenamento das informações em matricial, vetorial e convencional.

A segurança de um BD que se refere ao acesso intencional das informações por usuários não habilitados e a integridade relaciona-se à perda da consistência das informações, não mais refletindo os fenômenos existentes no mundo real. Dessa maneira são estabelecidos diversos graus de autorização para manipulação das partes do banco, as principais autorizações são: leitura, entrada, atualização, indexação e redução.

Em um SIG um BD trabalha por meio da criação de tabelas e a inter-relação de cada campo em cada tabela, e estas tabelas relacionam-se às feições espaciais.

Existem dois modelos de informações espaciais, um baseado em campos e outro baseado em objetos. O modelo em campos trata as informações espaciais do tipo altitude, chuvas e temperaturas como uma coleção de funções capazes de transformar uma parte do

espaço em atributos. Quando representamos o espaço por meio de entidades espacialmente referenciadas e distintas temos o modelo baseado em objetos.

O termo **entidade** corresponde a um objeto que existe e é perfeitamente distinguível de outros objetos. Um exemplo, um afloramento descrito e georreferenciado é uma entidade, os fatores observados em campo (geológicos, geomorfológicos, etc...) são os atributos dessas entidades. O conjunto de todas as informações de uma área georreferenciada é um conjunto de entidades. Quando se fala em **relacionamentos**, tem-se a associação presente entre várias entidades e seus respectivos atributos.

Dentre as formas organização e arquitetura de um banco de dados, a que irá ser utilizada neste trabalho, e descrita por, como banco de dados hierárquico.

No modelo hierárquico, os dados e suas relações são representadas por registros e ligações, respectivamente. Estes registros são organizados como coleções de árvores, ao invés de registros arbitrários. Cada registro é uma coleção de campos (atributos), cada um dos quais contendo somente uma informação. Uma ligação é uma associação direta entre dois registros.

#### **4.4 Etapas de trabalho**

- Estrutura Geral

Vedovello (2000) propõem que, para elaborar um zoneamento geotécnico, a partir da análise integrada do terreno e com o uso de procedimentos sistemáticos de fotointerpretação, são definidas três etapas básicas (Figura 4.7):

- Compartimentação Fisiográfica do Terreno
- Caracterização Geotécnica
- Cartografia Temática Final ou de Síntese.

Serão apresentadas as revisões bibliográficas referentes a cada uma das etapas básicas, que embasaram a metodologia utilizada, sucedidas por uma discussão dos métodos efetivamente aplicados para o desenvolvimento deste trabalho.

Compartimentação Fisiográfica do Terreno – consiste na divisão de determinada área em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características dos elementos do meio físico, e que impliquem em um determinado comportamento geotécnico específico. O produto de sensoriamento é o elemento de análise e a base topográfica é o elemento de representação. Esta etapa consiste tanto na fotointerpretação, com a identificação dos compartimentos, na análise da similaridade entre os compartimentos obtidos, com a definição de unidades básicas de compartimentação (UBC), em trabalhos de campo para a checagem dos limites entre compartimentos e sua similaridade, na passagem dos compartimentos para uma base topográfica e posterior elaboração do mapa de unidades básicas de compartimentação em um Sistema de Informação Geográficas.

Caracterização geotécnica – é a determinação de propriedades e características dos materiais (solos, rochas e sedimentos), relevo e processos morfogenéticos de cada unidade interpretada na etapa anterior, baseada em inferências de propriedades através de características observadas na imagem e em trabalhos de campo para levantamento de informações e calibração das inferências efetuadas. Consta também desta etapa a alimentação do banco de dados espacial em SIG, onde dados descritivos de cada compartimento são tabulados para posterior análise.

Cartografia Temática Final – nesta etapa cada unidade é classificada quanto as suas potencialidades e fragilidades do terreno. Essa classificação é feita através de critérios que visam atender as aplicações pretendidas, e são calibrados segundo a análise das propriedades e características do meio físico. Neste trabalho este procedimento será realizado por meio da modelagem do processo geológico, e implementação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), mais especificamente com recursos de banco de dados espacial.

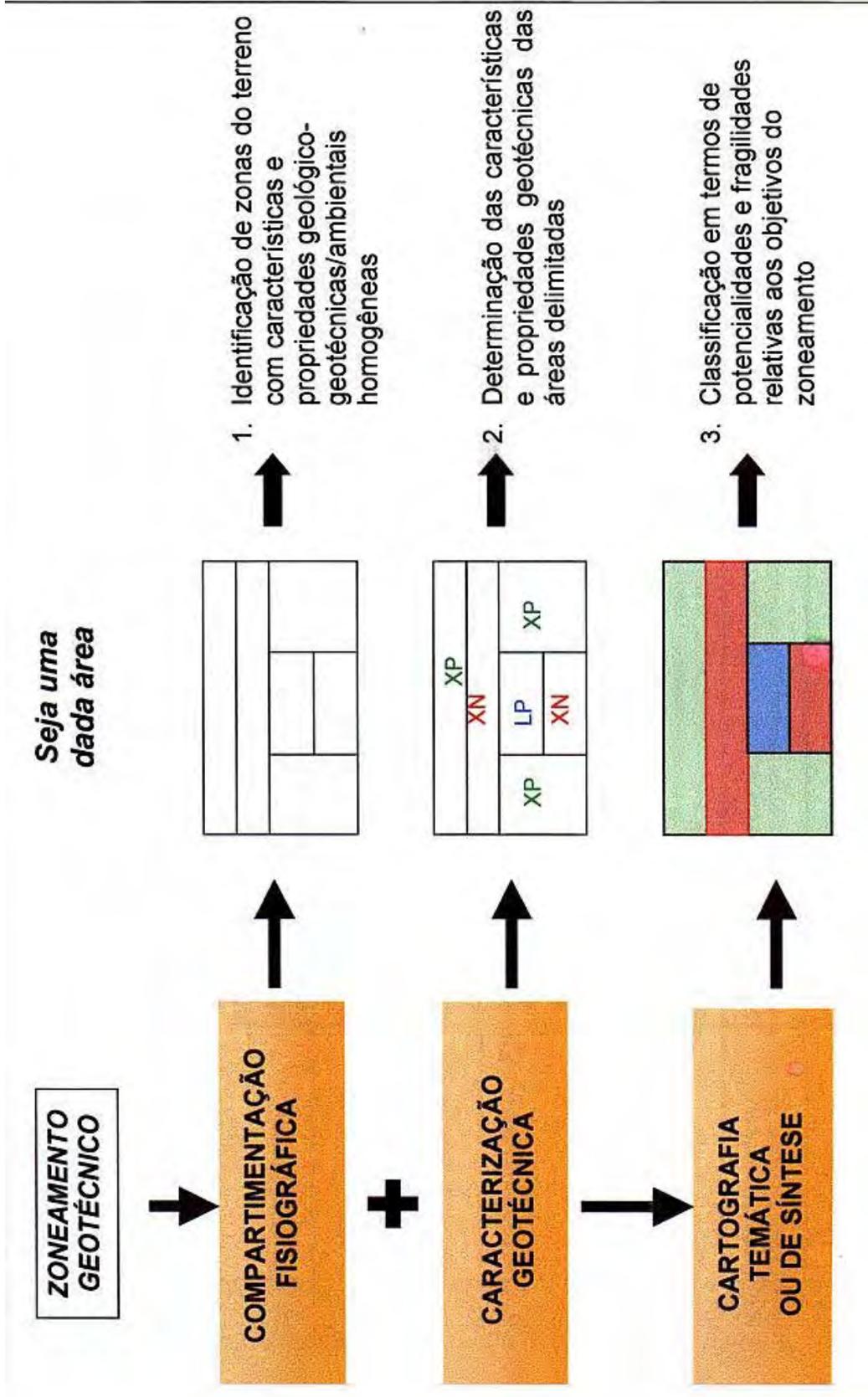


Fig. 4.7 – Etapas básicas para a elaboração de zoneamentos geotécnicos (Vedovello, 2000)

#### 4.4.1. - A Etapa de Compartimentação Fisiográfica do Terreno

As imagens utilizadas foram cedidas e gentilmente disponibilizadas para este trabalho, através de parceria do IG/SMA com a UNESP.

A compartimentação fisiográfica do terreno teve início em imagens do sensor TM – Landsat 7, em escala 1:100000, em papel. Foram utilizadas tanto a banda 4 (0,76 – 0,90 m – faixa do infravermelho), em escala 1:100000, quanto uma composição colorida, que foi realizada através da fusão da composição 2B3G4R com a banda pancromática. As cenas utilizadas foram imageadas em 03/09/99, com órbita ponto 219\_077.

A banda 4 foi utilizada, pois é a banda onde a reflectância da vegetação apresenta maiores valores, fazendo com que as áreas vegetadas apareçam com tons claros na imagem, contrastando assim com os tons escuros dos corpos d'água decorrentes da alta absorção da energia eletromagnética neste intervalo de comprimento de onda. Este contraste, entre tons de cinza mais claros, próximos a tons de cinza mais escuros, auxilia na análise das feições de drenagem e relevo.

A obtenção destes limites foi realizada através de reconhecimento de áreas homogêneas, representadas pelos diferentes arranjos espaciais dos elementos de relevo e drenagem. Foram também reconhecidas as feições estruturais mais importantes, através de lineamentos e alinhamentos, claramente reconhecíveis na imagem, e que representassem um limite entre zonas homogêneas distintas.

A próxima etapa fotointerpretativa foi realizada em produtos do ETM – Landsat 7, na escala 1:50000 e também em papel. A data do imageamento é 03/09/99, apresenta órbita ponto 219\_077 e se constitui num detalhamento da anterior.

Nesta etapa, pretendeu-se a identificação em escala 1:50000 das estruturas e feições reconhecidas na etapa anterior numa escala menor (1:100000), facilitando o novo trabalho de análise que corresponde ao reconhecimento e delimitação das unidades básicas de compartimentação.

As imagens digitais em formato TIFF, de todas as bandas do Landsat 7 – ETM+ também foram disponibilizadas e analisadas, quando feições que não podiam ser reconhecidas no papel eram marcantes e sua análise era dificultada. Dessa forma, procedeu-se com a identificação da mesma feição em outras bandas do espectro, que melhor realçasse a

estrutura em questão. Cabe ressaltar que uma consulta a literaturas especializadas pode revelar o comportamento dos diferentes alvos (solos, rochas, vegetação, água) e auxiliar na escolha da banda a ser utilizada no trabalho de fotointerpretação.

As imagens digitais ainda permitem o tratamento, através de alterações de contraste e filtragem especiais, que podem ser efetuadas através de softwares específicos tais como Spring e IDRISI, de modo a facilitar a análise dos elementos imageados ou ainda realçar as estruturas geológicas (Figura 4.8).



**Fig. 4.8** – Composição falsa cor 3B4R5G (contraste linear), mostrando área do município de Peruibe.

- Compartimentação da área de estudo – Consiste em identificar na imagem divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos, através da análise de elementos texturais e tonais das imagens e conseqüente determinação de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's).

A partir da análise e identificação de elementos texturais de relevo e drenagem nas imagens podem ser propostas divisões em diferentes níveis hierárquicos, que são capazes de explicar e agrupar ocorrências de determinadas geoformas (VEDOVELLO, 2000), que são partes específicas do terreno onde ocorre uma associação característica das formas de ocorrência de vários elementos fisiográficos, que compõem o terreno, e são resultantes da dinâmica de evolução, exógena e endógena, e das propriedades intrínsecas dos elementos fisiográficos.

São adotados três níveis hierárquicos taxionômicos informais, para representar as divisões:

*Província:* Representa a divisão de diferentes compartimentos tectono-estruturais, que englobam características climáticas atuais em nível regional.

*Zona:* São áreas que correspondem a grupos litológicos de ordem genética diferentes e com evolução tectônica e idade geológica diversa.

*Subzona:* representa diferentes feições geomorfológicas locais, relacionadas a diferentes materiais (tipos litológicos) submetidos a diferentes processos e/ou presença de diferentes arranjos estruturais em uma mesma litologia.

*Unidade:* Corresponde à unidade de compartimentação, que corresponde à menor unidade de terreno onde os elementos fisiográficos ocorrem com as mesmas características texturais na imagem. Esta geoforma apresenta litologia, forma de relevo, perfil de alteração, vegetação, etc. específicos e constantes na sua área.

Na primeira subdivisão realizada, no nível hierárquico Província, foram reconhecidos três compartimentos.

O primeiro representa a região de planalto, o seu limite é obtido através da análise da quebra positiva de relevo, entre o mesmo e as regiões escarpadas da Serra do Mar. A análise geomorfológica dos elementos de relevo do planalto, que nesta região são caracterizados pelo

predomínio de morros convexos, e dos elementos de relevo da escarpa, permite uma clara divisão e orientação quanto ao melhor lugar para estabelecer o limite fotointerpretado. O mapa geomorfológico do estado de São Paulo (PONÇANO, 1981) foi utilizado para a identificação destes diferentes compartimentos. Esta província foi denominada como Planáltica e é representada pela letra P.

O segundo compartimento engloba o relevo escarpado dos contrafortes da Serra do Mar, a escapa escalonada da Serra de Paraibuna e o relevo montanhoso da Serra dos Itatins. Estas feições foram primeiramente identificadas no mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981), e delimitadas na imagem de satélite através de análise dos elementos de relevo e drenagem, que apresentam características muito variadas, mas de modo geral, com relevo acidentado de amplitudes elevadas. A rede de drenagem pode ser dendrítica, subparalela, angular, etc. por vezes revelando um forte condicionante estrutural na área. O limite considerado para a delimitação desta província é a descontinuidade entre a mesma com os sedimentos flúvio-marinhos da baixada litorânea, que individualizam uma outra província diferente, a Litorânea. Estas províncias foram denominadas de Serranias e Litorânea, e simbolizadas respectivamente pelas letras S e L.

Estes limites identificados na imagem de satélite foram transferidos para a base topográfica na escala 1:50000, a mesma escala da imagem de satélite. Este fator auxiliou muito na separação das unidades de compartimentação. No momento da transferência dos limites, foi analisada também a configuração das curvas de nível, de forma a se avaliar se o comportamento observado na imagem possuía reflexo nesta configuração. O limite entre a província Planáltica e a província Serranias é marcado na base topográfica por diferente padrão de espaçamento entre as curvas de nível: na região de escarpas o espaçamento é menor do que nos morros do planalto. Outro fator que contribuiu para a delimitação foi a forma das curvas de nível e suas cotas. O limite entre a província Serranias e a Litorânea foi demarcado na base topográfica acompanhando-se o traçado da cota de vinte metros.

Na divisão taxionômica de zona são estabelecidos compartimentos que irão refletir diferentes formações geológicas, com diferenças de idade e de tipos litológicos. Uma mesma zona pode repetir-se em diferentes províncias, mas esse fator não implicará em unidades básicas de terreno com mesmas características, pois o modelado regional será outro.

Os mapas geológicos tomados como referência foram o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1980) e o Mapa Geológico da Porção Sul-Oriental do Litoral Paulista (PASSARELLI, 2001). Analisaram-se áreas representativas na imagem que representassem a textura mais próxima de determinado tipo litológico. Nestas áreas foram levantados os padrões de drenagem, a presença de estruturas geológicas, a amplitude do relevo; utilizando-se destes critérios, por exemplo, a identificação de uma zona de falhamento pode ser reconhecida, através de uma drenagem retangular, com duas direções, o relevo mais arrasado devido ao intenso grau de fraturamento e uma menor resistência ao intemperismo. Um outro exemplo de análise pode ser o reconhecimento de um maciço granítico, que por muitas vezes pode claramente apresentar um relevo mais pronunciado, quando encaixado em rochas migmatíticas e gnáissicas.

Os limites entre estas diferentes zonas, uma vez reconhecidos na imagem de satélite foram passados para a base topográfica, através do ajuste entre os elementos de interpretação reconhecidos na imagem, para o elemento de representação cartográfica, reconhecidos na carta topográfica em escala 1:50000.

A primeira zona identificada é representada pelas rochas metassedimentares, xistos e gnaisses do Complexo Embu, e simbolizada pela letra X. Ocorre na porção nordeste da área de estudo, e possui unidades representadas tanto na Província Planáltica quando na Província Serranias.

A segunda zona representa os migmatitos e gnaisses do Complexo Costeiro e aflora ao longo de toda escarpa da Serra do Mar e Serra de Paranapiacaba. A sua simbologia é feita através da letra M.

Os Granitos do Tipo Areado, simbolizados pela letra A, representam uma intrusão sintectônica, ao longo do eixo da falha de Cubatão, e estão alocados em rochas do Complexo Costeiro.

O Complexo Itatins representa a quarta zona identificada na imagem, e salienta-se devido ao fato de ser um maciço, muito bem separado morfologicamente através de uma faixa de sedimentos quaternários e uma zona de cisalhamento muito bem marcada na imagem de satélite, a Zona de Cisalhamento de Itariri. Os tipos litológicos presentes são charnockitos e kinzígitos, e a simbologia adotada para poder representá-los é a letra K.

Os sedimentos inconsolidados transportados, que apresentem ou não evolução pedogenética, identificados como colúvios, são simbolizados pela C.

Os sedimentos costeiros foram divididos quanto a sua origem, independente do tipo de material que o formava (areia e argila). Três zonas foram identificadas e são elas: sedimentos flúvio-marinhos, fluviais e mistos, representados pelas letras D, F e T respectivamente.

Após a fusão destas duas primeiras compartimentações, o próximo nível taxionômico a ser identificado e descrito, é o de subzona e que possui, como seu critério de identificação, a configuração local de relevo. Nesta etapa de compartimentação, deverá ser identificado, com base no perfil de cada forma, a ocorrência mais característica dos elementos de topo e encosta, forma de vales, entalhamento, dinâmica superficial e diferentes estruturas geológicas, que resultará em formas de relevo diferentes, em uma mesma zona.

Na Província Planáltica, na zona Complexo Embu, pode ser descrita e identificada apenas uma subzona, que é marcada pela presença de morros e morrotes convexos com amplitudes de 40 a 60m, um padrão de drenagem retangular. A simbologia utilizada é a letra C. Nota-se que esta mesma subzona torna-se a repetir na Província Serranias, representando um relevo de morros com topos convexos, só que desta vez a amplitude local pode ser de algumas dezenas de metros até mais de trezentos metros.

Quando os morros convexos apresentavam-se de forma que seu topo não fosse restrito, mas tivesse uma extensão lateral, adotou-se a subzona morros com topos alongados e convexos, simbolizada pela letra L. Admitindo-se a relevância de criar uma outra subzona, devido ao perfil de alteração e a forma da encosta poderem variar, o que a diferenciaria da outra subzona descrita anteriormente.

Os morros restritos com topos agudos são identificados na zona Complexo Itatins, e são representados uma série de morros com topos agudos que se destacam na paisagem, e são separados do continente por pequenas planícies flúvio-marinhas. Este tipo de subzona que é identificada na porção sul da área, no sul do Complexo de Itatins, é simbolizada pela letra M.

As regiões onde o relevo apresenta uma quebra abrupta entre o Planalto Atlântico e a Serra do Mar foram definidas como a subzona Escarpa Retilínea. Além de ocorrer na porção central da área, ocorre ao sul, na zona Complexo Itatins, onde o maciço encontra-se ainda próximo ao continente. Os elementos de relevo presentes são, os morros alongados paralelos

com o topo agudo, perfil da encosta íngreme, retilíneo e com grau de entalhamento elevado, com amplitudes maiores que até 500m. É simbolizada pela letra E.

A subzona, simbolizada pela letra R descreve feições de relevo suave, próximo a regiões escarpadas ou de relevo acidentado e material retrabalhado e reconfigurado em forma de rampas.

- Avaliação de homogeneidade e de similaridade das unidades de compartimentação – Refere-se à análise das propriedades dos elementos texturais utilizados na interpretação e extraídos da imagem para um “overlay”. Objetiva analisar se ocorrem possíveis heterogeneidades internas nas unidades, que determinem sua subdivisão, ou unidades que devam ser classificadas sob a mesma denominação.

Após criadas as unidades de representação do terreno, o próximo procedimento operacional foi verificação da homogeneidade e similaridade.

A homogeneidade foi realizada com base na análise qualitativa das propriedades e características texturais de elementos de drenagem e/ou relevo. Estes elementos são extraídos da imagem através de um overlay, com os compartimentos já prontos, e para cada compartimento os seguintes itens foram analisados: densidade do elemento de análise, tropia, forma da encosta e forma do topo. Foram considerados homogêneos os compartimentos em que tais propriedades e características texturais permanecessem constantes em toda a área do compartimento. Estes atributos permitiram a avaliação dos limites entre as unidades, pois quando unidades tidas como diferentes através da fotointerpretação, possuíam as mesmas características nos quatro descritores, estas unidades que antes representavam porções distintas do terreno, eram englobadas em uma única unidade. Se verificada heterogeneidade interna nas unidades de compartimentação iniciais, estas foram subdivididas. Para a análise da homogeneidade, considerou-se também a configuração das curvas de nível do compartimento. Uma vez passados os limites para o topográfico, a forma das curvas e seu espaçamento foram também considerados como subsídio à análise de homogeneidade

A similaridade consiste na classificação sob a mesma denominação, de áreas homogêneas que apresentavam propriedades texturais e/ou estruturais semelhantes. Esta etapa foi realizada através da comparação da descrição dos elementos de análise.

Para cada característica textural utilizada na avaliação da homogeneidade e da similaridade dos compartimentos, identificados em cada nível taxionômico, foram estabelecidas classes para auxiliar na caracterização destes elementos da imagem.

A classe densidade corresponde à quantidade de elementos de análise por área. As seguintes divisões foram estabelecidas:

**muito alta (MA)** – representa uma situação de muito alta frequência repetição do elemento textural por unidade de área, ou quando a superfície do elemento é de tamanho reduzido.

**alta (A)** – representa uma situação de repetição do elemento textural grande, ou quando a superfície do elemento é pequena.

**média (M)** – representa uma situação de repetição do elemento textural média, ou quando a superfície do elemento também é média

**baixa (B)** – representa uma situação de repetição do elemento textural pequena, ou quando a superfície do elemento é grande.

**muito baixa (MB)** – representa uma situação de repetição do elemento textural muito pequena, ou quando a superfície do elemento é muito grande.

Vale ressaltar que estas comparações são realizadas de forma qualitativa, tomando-se uma área base representativa para cada feição, como pode ser ilustrado através das imagens da Figura 4.9.



**Fig 4.9** – Imagem mostrando diferentes classes de densidade de elementos texturais. A) muito alta; B) alta; C) média; D) Baixa; E) muito baixa

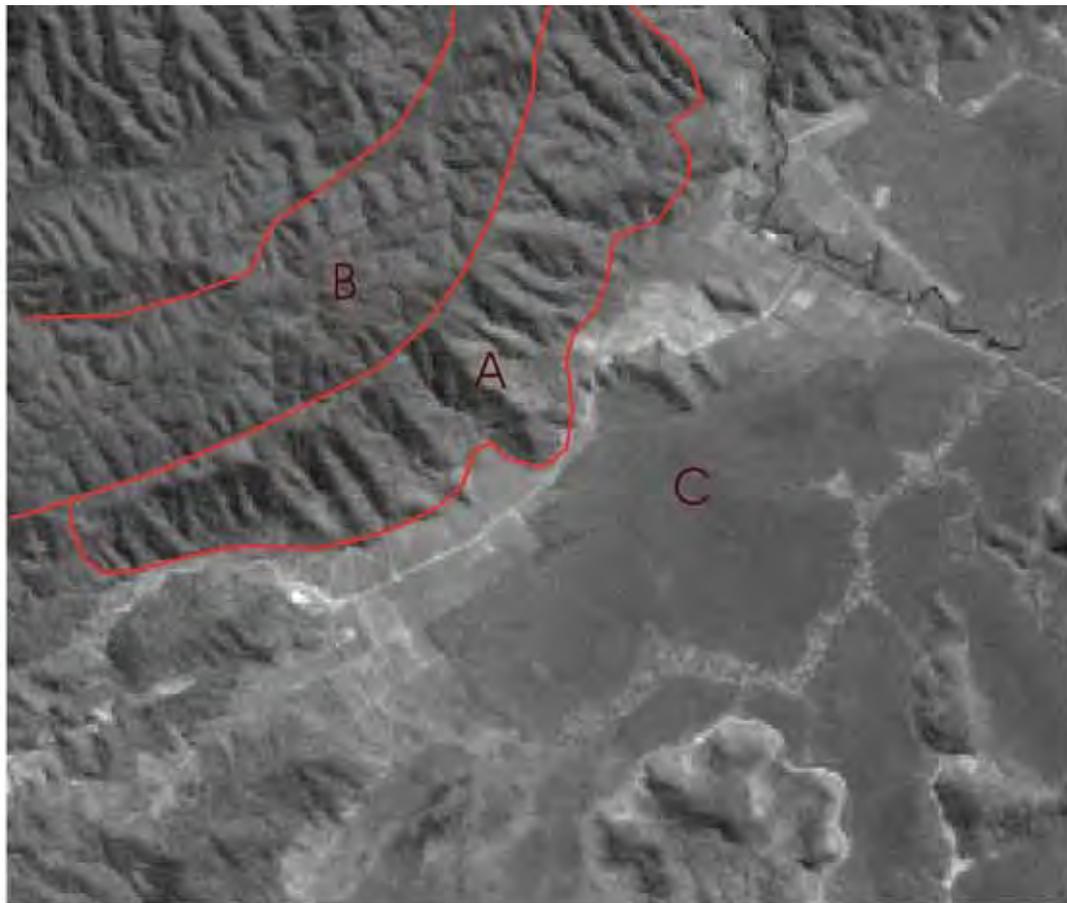
A classe tropia indica a presença ou não de orientações dos elementos de análise, impressas por estruturas geológicas, de um ou até mais eventos, de caráter regional, que estruturam o modelado do relevo atual. Também é avaliada através de quão perceptíveis estas estruturas apresentam-se no relevo através de orientações de redes de drenagens ou topos de morros orientados em determinadas direções. Foram atribuídas as seguintes divisões:

**não orientado** – quando nenhuma direção preferencial pode ser observada, devido muitas vezes à grande quantidade de direções presentes, ou quando o elemento de análise não apresenta uma orientação específica.

**pouco orientado** – quando os elementos de análise se configuram de tal forma que apresentem uma orientação preferencial de suas formas geométricas, em uma ou duas direções, podendo ocorrer de forma disseminada na área.

**muito orientado** – quando em toda área de análise todos os elementos apresentam-se de forma organizada e orientada segundo, uma ou duas direções preferenciais. Quando tre direções preferenciais eram identificadas, enquadravam-se nesta classe.

Os exemplos das diferentes classes de tropia podem ser visualizados na Figura 4.10.



**Fig 4.10** – Imagem mostrando exemplos das diferentes classes de tropia: A) muito orientada; B) pouco orientada; C) não orientada (planície).

A classe tipo de encosta foi determinada através da análise da imagem, em conjunto com a identificação do padrão geométrico predominante das curvas de nível na mesma área de representação, na base topográfica em escala de 1:50000. As divisões para esta classe são:

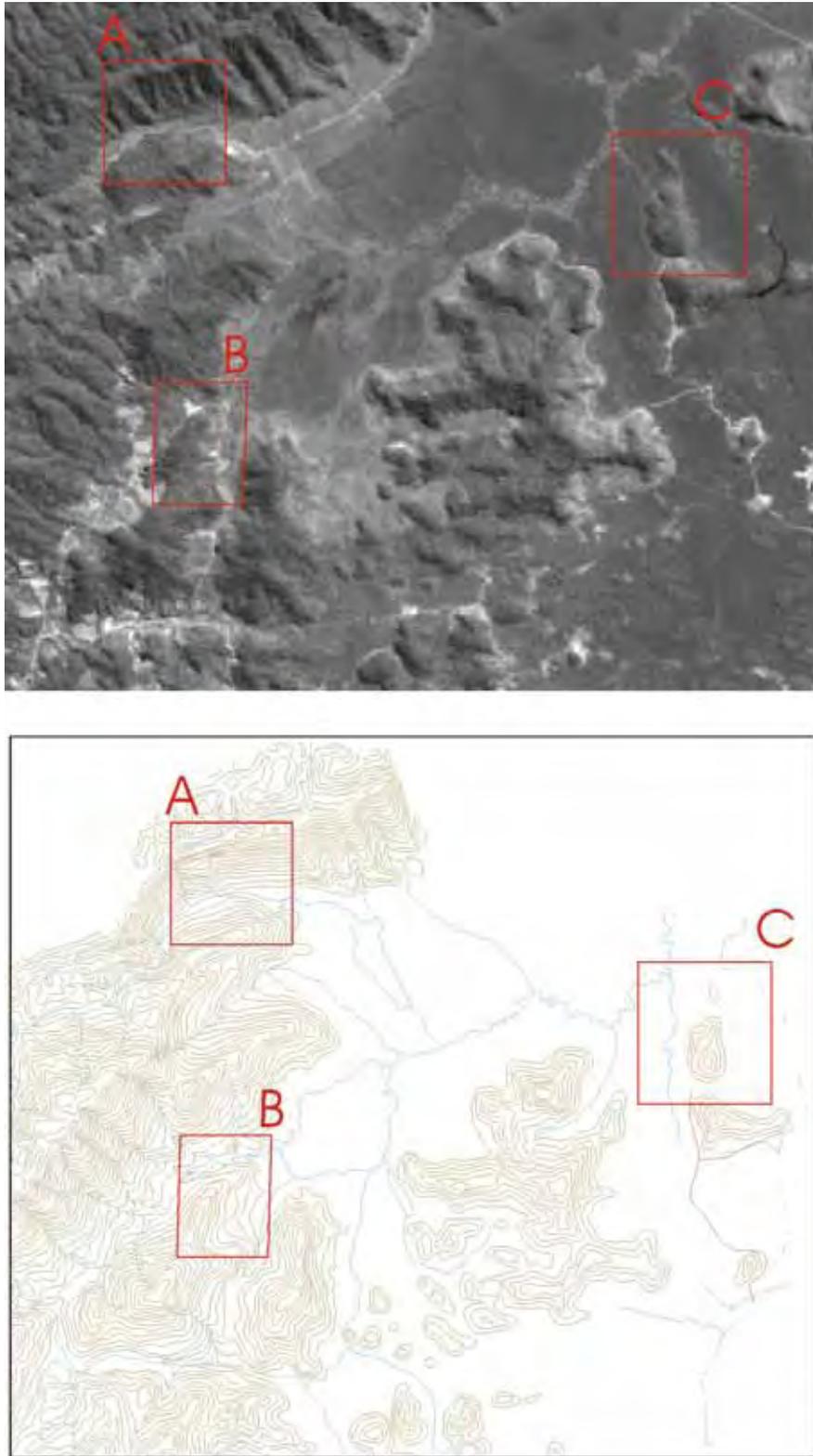
**convexa (X)** - representada por curvas de nível com padrão convexo, e distância entre curvas grande, revelando relevo mais amplo, observável também na imagem de satélite.

**retilínea (R)** – representada por curvas de nível com padrão retilíneo, e distância entre curvas pequena à média, assinalando alta declividade e depósitos de material, da porções medianas na encosta para baixo, na imagem é identificada pelo sombreamento mais pronunciado.

**côncava (V)** - representada por curvas de nível com padrão côncavo, e distância entre as curvas variando de grande à média. Uma das formas características destas encostas é a presença de pequenos anfiteatros de cabeceiras.

**côncavo-convexa (RX)** – representada por curvas de nível com padrão ora côncavo, ora convexo, de maneira alternada e com amplitudes de formas também variadas, formando uma encosta com o perfil na sua porção superior convexo e na sua porção inferior côncavo.

Os exemplos das imagens e das configurações das curvas de nível para cada tipo de encosta podem ser observados na Figura 4.11.



**Fig. 4.11** – Diferentes formas de encostas na imagem e na carta topográfica: A) encosta retilínea; b) encosta côncava; C) encosta convexa

A classe forma do topo é subdividida em dois termos. O primeiro é sobre a extensão da forma. O outro termo retrata o geometria da forma.

O termo extensão apresenta as subdivisões:

**contínuo (C)** – quando o topo apresenta extensão significativa em relação à área de análise, ou quando o topo apresenta uma orientação, revelando uma forma alongada.

**restrito (R)** – quando o topo não apresenta nenhum tipo de extensão lateral, e sua área é restrita.

O termo geometria na área, apresenta as subdivisões:

**convexa (X)** – topo apresenta perfil suavizado e forma convexa.

**agudo (A)** – topo apresenta perfil aguçado e forma cônica, com superfície restrita.

Os exemplos dos tipos de topo estão ilustrados na Figura 4.12.



**Fig. 4.12** – Imagem mostrando exemplos dos diferentes tipos de topo: A) topo contínuo e agudo (CA); B) topo restrito e convexo (RX).

- Trabalhos de campo – Dois trabalhos de campo foram realizados em etapas diferentes e com objetivos distintos.

O primeiro trabalho de campo foi realizado após o término das atividades de fotointerpretação, e teve como finalidade a verificação das unidades de compartimentação e checagem da fotointerpretação. As atividades realizadas consistiram na observação dos limites estabelecidos na fotointerpretação para as UBC's, bem como a confirmação da ocorrência ou não das características morfoambientais e genéticas determinantes dos níveis taxionômicos considerados, justificando ou não, uma possível divisão. A partir da viabilidade de acesso, foram verificadas áreas correspondentes às UBC's mais representativas.

O segundo campo teve como foco principal a caracterização geotécnica de cada UBC, através do levantamento do material inconsolidado e do perfil de alteração mais característico de cada unidade. Neste trabalho, foram levantados os perfis de intemperismo considerados representativos para cada unidade. Foram descritas as características geotécnicas básicas para cada horizonte do perfil, através de descrições de campo, baseada em planilha desenvolvida pela equipe de geólogos do Instituto Geológico (IG – SMA), tabelas 4.8 e 4.9, além de outras informações consideradas relevantes na análise geral da área, segue também uma ficha já preenchida como exemplo (Tabelas 4.10 e 4.11).

Neste trabalho, o perfil geotécnico do solo foi levantado, e foram reconhecidos os seus horizontes intempéricos e levantadas informações consideradas relevantes, para posterior análise. Este item será melhor descrito no capítulo de caracterização geotécnica.

As fotos 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 ilustram alguns tipos de dados obtidos em campo

**TABELA 4.8 – PARTE FRONTAL DA FICHA DE CAMPO**

<b>FICHA DE CAMPO</b>	<b>Etapa:</b>	<b>Data:</b>	<b>Ponto nº:</b>	<b>Unidade:</b>
<b>DADOS BÁSICOS</b>				
Município:	Folha topográfica (1:50000):			
Localização/Ocupação:	Coordenadas: LATITUDE: LONGITUDE:			
<b>GEOMORFOLOGIA</b>				
Unidade geomorfológica:		Relevo Local:		
Posição do perfil na encosta:		Amplitude da forma:		
<b>DINÂMICA SUPERFICIAL</b>		<b>CROQUIS</b>		
1. ( ) erosão laminar				
2. ( ) ravinamento				
3. ( ) sulcos				
4. ( ) voçorocas				
5. ( ) escorregamentos				
6. ( ) queda de blocos/desplacamento				
7. ( ) assoreamento				
8. ( ) inundação				
<b>OBSERVAÇÕES:</b>				
<b>GEOLOGIA</b>				
Unidade geológica:		Fraturas/juntas:		
Tipo litológico:		Grau de fraturamento:		
Cor/tonalidade:		Grau de alteração:		
Textura:		Contatos:		
Espessura dos níveis:		Intercalações:		
Mineralogia:		Continuidade lateral:		
Estruturas:		Continuidade vertical:		
<b>OBSERVAÇÕES</b>				
<b>CROQUIS</b>				

TABELA 4.9 – VERSO DA FICHA DE CAMPO UTILIZADA, NAS DESCRIÇÕES.

<b>UBC:</b>
-------------

MATERIAL INCONSOLIDADO			
<b>SOLO SUPERFICIAL</b>			
Textura:		Espessura:	
Varição textural:		Intercalações:	
Cor:		Consistência/ Compacidade:	
Estruturas:		Contato inferior:	
<b>SOLO RESIDUAL</b>			
Textura:		Espessura:	
Varição textural:		Intercalações:	
Cor:		Consistência/ Compacidade:	
Estruturas:		Contato inferior:	
<b>SAPROLITO</b>			
Textura:		Espessura:	
Varição textural:		Intercalações:	
Cor:		Consistência/ Compacidade:	
Estruturas:		Contato inferior:	
* OBSERVAÇÕES			



**TABELA 4.11** – PARTE DE POSTERIOR DA FICHA DE CAMPO, PREENCHIDA COM DADOS DE UM PONTO.

**UBC: SKM<sub>1</sub>**

MATERIAL INCONSOLIDADO			
<b>SOLO SUPERFICIAL</b>			
Textura: -		Espessura: -	
Variação textural: -		Intercalações: -	
Cor: -		Consistência/ Compacidade: -	
Estruturas: -		Contato inferior: -	
<b>SOLO RESIDUAL</b>			
Textura: -		Espessura: -	
Variação textural: -		Intercalações: -	
Cor: -		Consistência/ Compacidade: -	
Estruturas: -		Contato inferior: -	
<b>SAPROLITO</b>			
Textura:	Areno – argiloso	Espessura:	> 4m
Variação textural:	Argila à areia média	Intercalações:	Veios de quartzo decimétricos e porções de rochas básicas
Cor:	Variegada com predomínio de tons brancos, róseos e amarelos	Consistência/ Compacidade:	Mole
Estruturas:	Blocos	Contato inferior:	Não observado
* OBSERVAÇÕES			



**Foto 4.1** – Escorregamentos encontrados na unidade SMC9



**Foto 4.2** – Escorregamentos observados na unidade SML2



**Foto 4.3** – Paredões rochosos, unidade SKM3, processos de tombamento podem estar associados



**Foto 4.4** – Perfil típico de alteração da unidade LMI

- Elaboração do mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) – Refere-se à elaboração de um mapa, onde as diversas Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) estão identificadas por uma sigla ou código, que reflete seu contexto fisiográfico e seus níveis hierárquicos de compartimentação.

As unidades fotointerpretadas, sobre a imagem de satélite em papel, com ajuda de um overlay, foram transferidas para uma base cartográfica digital, previamente georreferenciada. A base cartográfica digital na escala 1:50000, do município de Peruíbe, foi digitalizada a partir das bases topográficas do IBGE (Folhas Pedro de Toledo, Itanhaém e Pedro Dias) foram confeccionadas pelo IF-SMA, e gentilmente cedida pelo Projeto SIIGAL (FAPESP Nº 98/14277-2) para a realização deste trabalho. (Figura 4.13)

Com a ajuda de um software de vetorização de dados, no caso o AUTOCAD 2000, os limites fotointerpretados foram transferidos para a base digital.

Cada unidade de compartimentação recebeu um código para a sua individualização. Este código possui três letras, relacionadas à hierarquia taxionômica adotada para o trabalho, e um número obtido através da análise de similaridade e homogeneidade, segundo segue:

1ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxionômico Província

2ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxionômico Zona

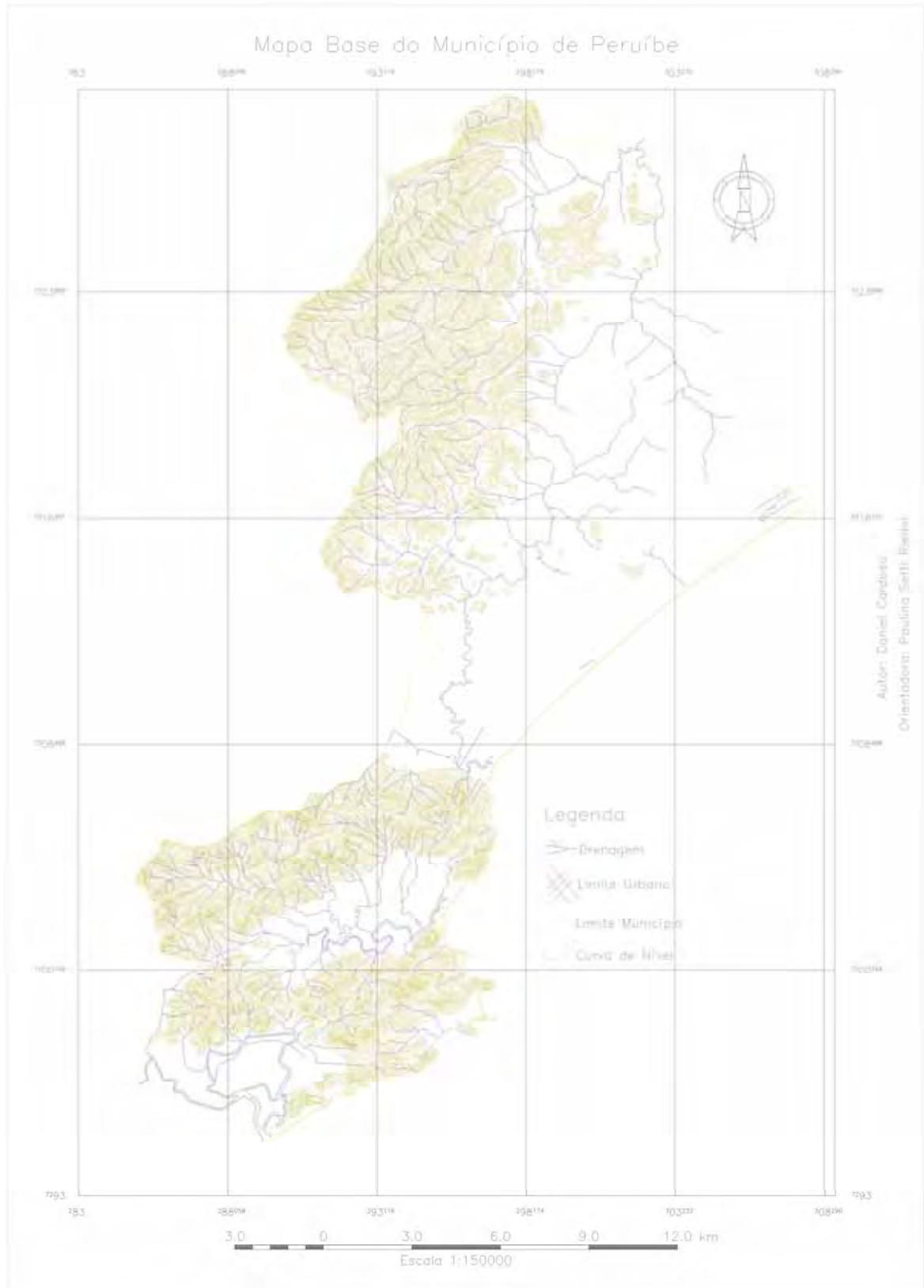
3ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxionômico Subzona

número: refere-se a cada unidade de compartimentação, avaliadas a partir dos elementos de análise.

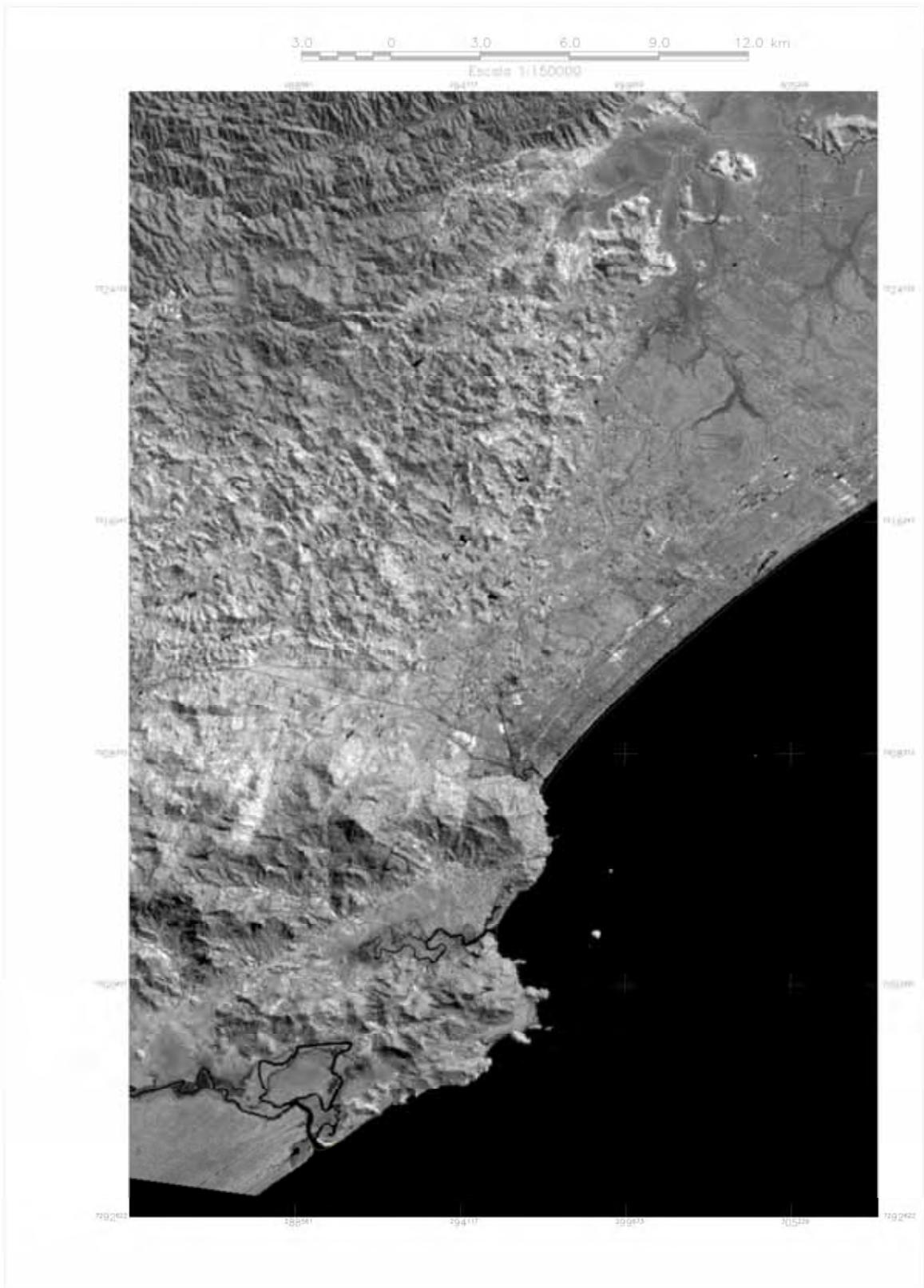
Estas unidades resultantes da compartimentação fisiográfica do terreno e a caracterização de seus elementos, representam as Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) (Figura 4.14 e 4.15), e sua utilização versa os mais variados tipos de estudo do meio físico e podem ainda funcionar como unidades armazenadoras de informações para sistemas de informações geográficas (SIGs).

O armazenamento pode ser realizado admitindo-se as unidades como objetos concretos no interior do sistema, que a estes objetos com áreas geográficas definidas, associam-se tabelas de dados que poderão ser consultadas posteriormente. A estas tabelas estão associados dados da fotointerpretação e as inferências obtidas através da análise do meio físico.(Figura 4.16)

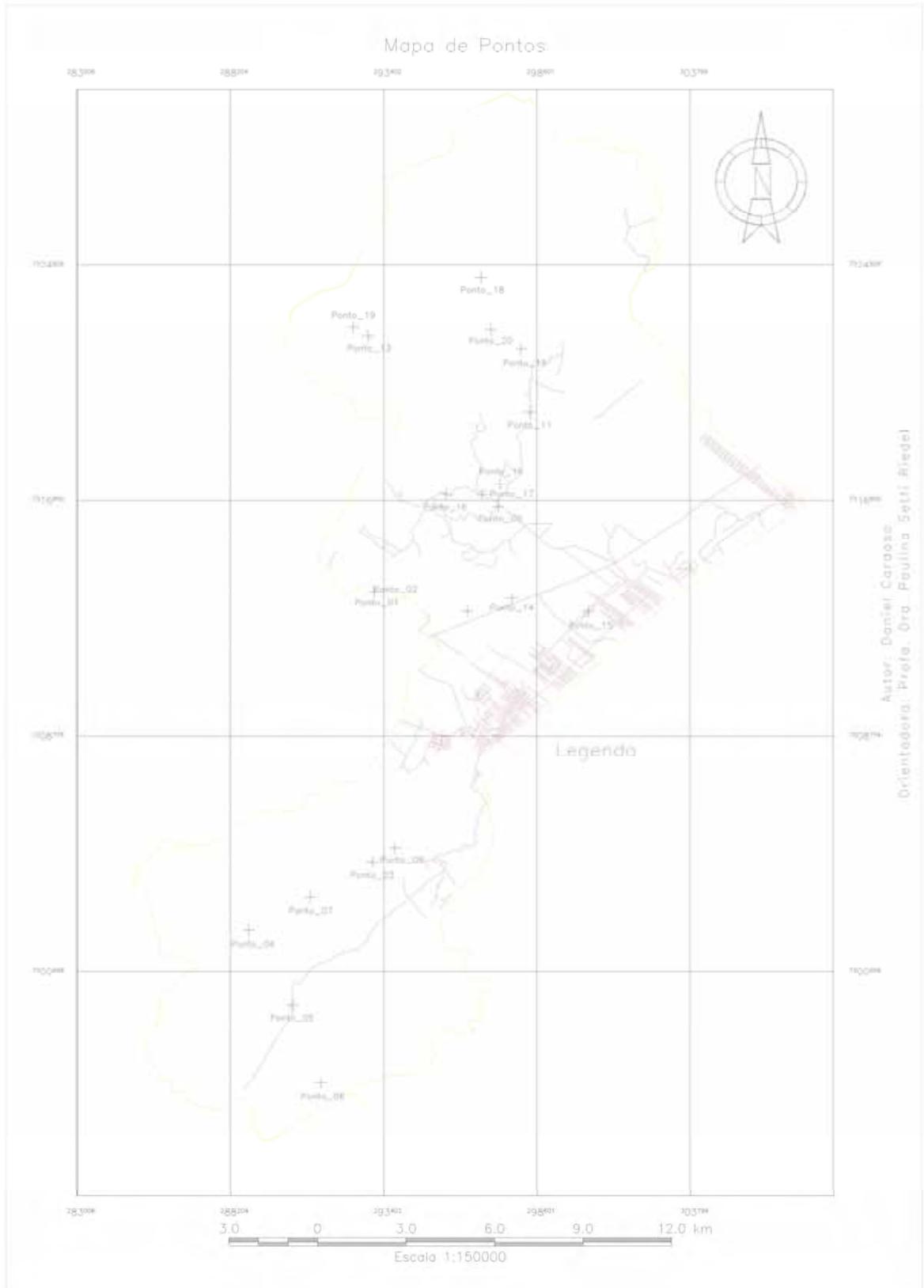
Os pontos descritos em campo também se transformam em objetos pontuais no sistema, a eles são vinculadas as informações dos perfis de alteração, e descrições geológico-geotécnicas, além de fotos.



**Fig. 4.13** – Mapa base simplificado, da área de estudo.



**Fig. 4.14** – Banda 4 do Landsat 7 (contraste linear) ETM+ , mostrando os compartimentos obtidos.



**Fig. 4.12.** – Mapa base da área de estudo. (Folhas topográficas Rio São Lourençinho, Itanhaém e Pedro de Toledo, escala 1:150000) e pontos de campo.

ID	UBC	D_DREN	TROPIA	F_ENCOST	T_TOPO	PERMEAB	PROF_ALT	GRAU_ALT	
1	318	LK1	B	PO	X	RX	A	P	A
2	417	SMC9	B	PO	X	RX	A	P	A
3	418	SKM12	A	MO	R	CA	B	R	B
4	419	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
5	420	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
6	421	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
7	423	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
8	424	SKE7	M	PO	X	CX	M	P	A
9	425	SML1	A	MO	R	CX	B	R	M
10	426	SKM10	M	PO	R	RA	M	R	B
11	328	LMI	B	PO	X	RX	A	P	A
12	427	SKE6	M	NO	X	RX	M	P	A
13	428	SKE1	M	PO	X	CA	M	R	B
14	429	SAC1	A	PO	X	RX	B	P	A
15	431	SMC8	A	PO	VX	CX	B	M	M
16	432	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
17	433	SKE4	A	PO	VX	RX	B	M	M
18	434	PXC2	A	PO	X	RX	B	P	A
19	435	SCR	MB	NO	X	RX	A	M	M
20	436	SKE12	A	PO	X	CA	B	P	M

**Fig. 4.16** – Tabela de atributos aos objetos do banco vinculada as UBCs

#### 4.4.2 Caracterização geotécnica dos compartimentos

A caracterização geotécnica é o conjunto procedimentos realizados para a obtenção das propriedades e características, sobre o meio físico, de cada unidade de compartimentação.

Os dados geotécnicos analisados visam o estudo das propriedades dos materiais que compõe determinada área. A aquisição desses dados deve ser estruturada de maneira que sejam básicos para a análise segundo o uso a que se destinem.

A escolha de quais dados geotécnicos devem ser analisados e o procedimento para sua aquisição são realizados com base no objetivo do mapeamento.

A caracterização geotécnica e a aquisição dos dados geotécnicos requerem procedimentos que se dividem em:

- ensaio de laboratório: ensaios realizados em amostradas deformadas ou não deformadas do terreno, em solos e rochas, para determinar as

propriedades físicas e químicas e o comportamento mecânico, que determinam as características geotécnicas de interesse.

- ensaios “in situ”: são ensaios e testes de campo, para avaliação das propriedades que permitem uma avaliação das características geotécnicas.
- inferências fisiográficas: as propriedades e características geotécnicas são inferidas a partir dos elementos fisiográficos que integram determinada área. É realizada conhecendo-se os elementos geológicos e geomorfológicos, e criando-se uma relação entre os dois seria possível inferir sobre permeabilidade, alterabilidade, declividade, espessura do material de cobertura.

Neste trabalho, parte dos dados de interesses geotécnicos foi coletada a partir de análise de campo, dos perfis de alteração mais característicos de cada unidade de terreno, utilizando-se, para isto, a ficha de campo desenvolvida pela equipe de geólogos do Instituto geológico, para facilitar o levantamento de informações sobre o meio físico em seus projetos. Este levantamento é realizado por meio de atividades de campo, e visa o levantamento das características e das propriedades de cada nível do material de alteração. Estas características são essenciais para que se tenha uma mínima quantidade de parâmetros para serem contrastados, possibilitando que dois tipos de materiais diferentes sejam individualizados.

Os levantamentos realizados em campo também tiveram como objetivo calibrar as inferências a serem efetuadas sobre os terrenos. Como por exemplo, associar a relação existente entre a profundidade do perfil de alteração e a forma da encosta. Observou-se, através das análises de campo, que as maiores profundidades do perfil de intemperismo estavam associadas às encostas convexas e topos convexos.

Nas fichas de descrição de campo, além das informações sobre localização do ponto e descrição geológica e geomorfológica, enfoca-se em uma descrição mais detalhada do manto de alteração.

Primeiramente, no manto de alteração foram identificados quando possível, três níveis diferentes designados: solo superficial, solo residual e saprolito.

Procurou-se descrever as principais características de cada nível do material de alteração, e foram definidas classes para cada características. Estas características e classe são apresentadas, como a Tabela 4.13

**TABELA 4.12 – CARACTERÍSTICAS LEVANTADAS EM CAMPO DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO E SUAS CLASSES.**

Característica	Classes
Textura	Argila; silte; areia; argila siltosa; argila arenosa; silte argiloso; silte arenoso; areia argilosa; areia siltosa e outros
Espessura	Estimação visual ou medida através de trena
Variação textural	Argila (<0,0002mm); silte (0,0002 a 0,075mm); areia fina (0,075 a 0,42mm); areia média (0,42 a 2,0mm); areia grossa (2,0 a 4,8mm) e pedregulho (4,8 a 76,2)
Intercalações	Lente; camada; linha de seixos; fragmentos dispersos; crostas limoníticas; nódulos argiloso e outros
Cor	Marrom, roxo, vermelho, amarelo, laranja, verde, cinza, preto, branco, variegado, azul e outras
Compacidade/consistência	Muito mole: SPT <2 (quando prensada pela mão o material sai por entre os dedos); Mole: SPT de 3 a 5 (amassável por ligeira pressão dos dedos); Média: de 6 a 10 (amassável por pressão considerável dos dedos); Rijo: SPT de 11 a 19 (penetrável pela unha); Duro: SPT > 19 (dificilmente penetrável pela unha)
Estruturas	Maciça; laminar; prismática; colunar; em blocos; granular
Contato inferior	Abrupto, claro, gradual e difuso

Modificado de Projeto SIIGAL (2000)

Outros atributos julgados importantes para a caracterização do terreno foram os processos da dinâmica superficial atual e sua relação com os elementos da fisiografia. A posição do perfil na encosta, declividade, forma da encosta, amplitude da forma de relevo e a presença ou não de processos erosivos e de movimentos de massa foram considerados nos levantamentos de campo, pois contribuem para uma melhor compreensão do comportamento dos terrenos.

Parte das propriedades geotécnicas, porém, foi obtida através de inferências fisiográficas, conforme Vedovello (2000).

As propriedades inferidas e sua relação com as propriedades descritas na imagem são descritas a seguir.

1 – Permeabilidade – inferida através da densidade de drenagem, diretamente proporcional a ela, da seguinte forma:

- permeabilidade alta – densidade de drenagem alta
- permeabilidade média – densidade de drenagem média
- permeabilidade baixa – densidade de drenagem baixa

2 – Declividade – inferida através da observação das curvas de nível das cartas topográficas

- Declividade alta – grande proximidade entre curvas
- Declividade média – média proximidade entre curvas
- Declividade baixa – grande distância entre curvas

3 – Profundidade do perfil de intemperismo descrita através do campo e inferida nas áreas não visitadas através da forma de encosta, extraída da associação imagem – carta topográfica e complementada algumas vezes pela forma de topo, conforme segue:

- profundo – forma da encosta convexa e topos convexos
- médio – forma da encosta côncava ou côncava-convexa
- raso – forma da encosta retilínea

4 – Grau de alterabilidade, inferida através da forma dos topos e das encostas, conforme segue:

- alta – topo convexo, encosta convexa
- média – topo convexo, encosta côncava
- baixa – topo anguloso, encosta retilínea

As propriedades geotécnicas, inferidas através das características dos terrenos e calibradas por descrições de campo, estão dispostas no capítulo de resultados.

#### 4.4.3. Cartografia temática e de síntese

##### 4.4.3.1 Carta de declividade e carta de exposição de vertentes

A carta de declividade foi gerada com as rotinas do software Spring 4.1®, a partir da base topográfica na escala 1:50000, já descrita no capítulo materiais, com as curvas de nível representando isolinhas de 20 metros de equidistância.

- **Geração de Declividade e Aspecto**

**Declividade** é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno (MNT) de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

Em algumas aplicações geológicas, geomorfológicas e etc. é necessário encontrar regiões pouco acidentadas ou regiões que estejam expostas ao sol durante um determinado período do dia. Para responder a estas questões a declividade conta com duas componentes: o gradiente e a exposição.

O **gradiente** é a taxa máxima de variação no valor da elevação, pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%), no SPRING é referenciado como declividade, e a **exposição** é a direção dessa variação medida em graus (0 a 360°).

As duas componentes de declividade (gradiente e aspecto) são calculadas a partir de derivadas parciais de primeira e segunda ordem obtidas de uma grade (retangular ou triangular) resultante dos valores de altitude da superfície. Para cada ponto desta grade são calculadas as derivadas parciais, computando-se os valores de altitude em uma janela de 3 x 3 pontos que se desloca sucessivamente sobre a grade. O resultado corresponde a duas novas grades, uma de gradiente e outra de exposição (Spring, 2002).

A **declividade**, ou gradiente, é calculada a partir da equação:

$$D = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$

O **gradiente** é dado pela equação:

$$\tan D = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$

Onde  $z$  é a altitude e  $x$  e  $y$  as coordenadas axiais.

A exposição é dada pela equação:

$$\tan A = \left( \frac{-\partial z}{\partial x} / \frac{\partial z}{\partial y} \right), (-\pi < A < \pi)$$

Estas derivadas parciais são calculadas diferentemente de acordo com o tipo de grade (retangular ou triangular) original.

São necessários os seguintes procedimentos para um mapa de declividade ou exposição:

1. gerar uma **grade retangular de altimetria** a partir das amostras ou de uma **grade triangular** que anteriormente foi obtida também das amostras, ou somente uma grade triangular da altimetria;
2. gerar uma **grade de declividade** ou **exposição** a partir da grade de altimetria;
3. fatiar uma das grades acima em **intervalos de declividade ou exposição**, gerando um mapa do modelo temático (em representação varredura). As classes de declividade ou exposição e suas categorias correspondentes, devem estar definidas anteriormente no banco de dados.

A entrada de isolinhas na modelagem numérica, seja pela sensibilidade da mesa digitalizadora, ou pela resolução do *scanner* e o algoritmo de conversão, produz muitas vezes um número excessivo de pontos para representar a isolinha. O espaçamento ideal entre pontos de uma mesma isolinha deve ser a distância média entre a isolinha e as isolinhas vizinhas. Este espaçamento ideal permite gerar triângulos mais equiláteros, que permitem modelar o terreno de maneira mais eficiente.

Outra fonte de pontos redundantes ocorre quando uma linha não é digitalizada continuamente, desde de seu início até seu final. Nestes casos, o primeiro ponto de uma linha pode ser o último da linha anterior, ou estar tão próximo a ela que pode ser interpretado como se estivesse posicionado na mesma localização geográfica. O último problema pode ser resolvido com a comparação entre os valores iniciais e finais das isolinhas. Um dos pontos, assim duplicados, pode ser removido do conjunto de amostras.

As linhas de drenagem podem ser utilizadas como fontes de informações adicionais e podem melhorar a qualidade do modelo de terreno.

No SPRING esta modelagem pode ser elaborada a partir de amostras (pontos e isolinhas), grades regulares ou outra grade triangular (TIN). Uma vez que a grade triangular tenha sido gerada, é possível a geração de isolinhas, calcular declividade e gerar grade regular a partir do TIN.

Para a carta de declividade os intervalos definidos para o fatiamento, segundo as classes definidas para este trabalho foram:

- $0^{\circ}$  –  $15^{\circ}$  – declividade baixa;
- $15^{\circ}$  –  $30^{\circ}$  – declividade moderadamente baixa e terrenos de transição;
- $30^{\circ}$  –  $40^{\circ}$  – declividade média;
- Maior que  $40^{\circ}$  - declividade alta.

Para a carta de exposição de vertentes, foram definidas oito classes segundo as direções principais, e os intervalos são explicitados abaixo:

Direção	Intervalo da classe
Norte	0° a 10° e 350° a 360°
Nordeste	10° a 80°
Leste	80° a 100°
Sudeste	100° a 170°
Sul	170° a 190°
Sudoeste	190° a 260°
Oeste	260° a 280°
Noroeste	280° a 350°

Logo após a definição dos intervalos, para cada UBC, por meio de operadores zonais e rotinas de programação LEGAL, foram obtidos com o modelo numérico do terreno da grade declividade, os valores médios e máximos das declividades para cada unidade e estes valores foram armazenados em objetos do banco de dados referentes a cada polígono que representa cada unidade.

Com esta informação, norteou-se o processo de consulta, que será analisado no item posterior. Um exemplo desta tabela pode ser observado na figura abaixo:

ID	UBC	DECL_MEI	DECL_MAI	EXPO_VI	
57	473	SKE4	25.823288	51.617950	100-170
58	474	PXC1	13.716691	39.281532	100-170
59	475	SCR	15.104346	43.259758	100-170
60	476	SAE2	24.181844	45.494747	100-170
61	333	LMI	16.488151	22.278992	190-260
62	477	SKE6	23.793310	46.424431	100-170
63	478	SML6	21.171997	44.158657	100-170
64	479	SKE3	27.759075	53.799923	280-350
65	480	SAE5	22.418710	45.767761	280-350
66	481	SKM1	26.897035	45.608032	100-170
67	482	SKM7	18.923321	50.546707	10-80
68	483	SMC1	15.691568	36.076988	10-80
69	484	SKM5	19.277666	37.730343	280-350
70	485	SCR	11.446065	28.013990	100-170
71	486	SAC2	13.827386	41.037979	280-350
72	334	LMI	4.253492	6.785180	10-80
73	487	SAE7	21.963452	43.806099	100-170
74	488	SKE8	17.284273	36.895672	100-170
75	489	SKE15	20.342516	38.936653	280-350
76	490	SKE5	17.845318	41.057987	100-170

**Fig 4.17** – Valores de declividade máximos e médios, além de exposição das vertentes (maioria zonal), por UBC.

A mesma operação foi realizada para a exposição da vertente, mas a diferença está no operador zonal utilizado. Com a grade do modelo numérico do terreno para a exposição da vertente, para cada UBC resgatou-se a maioria zonal do intervalo representativo da direção, e com isso a direção principal da vertente de cada unidade pode alimentar o objeto respectivo no banco de dados.

Obtendo dessa forma uma carta de exposição de vertentes por unidade básica de compartimentação, um produto auxiliar, que será muito utilizado no processo de consultas.

#### 4.4.3.2 Mapa de Fraturas

As fraturas podem e devem ser entendidas como elementos lineares associados aos principais eventos tectônicos que ocorreram na área de estudos, elas podem ser interpretadas pelo fotointérprete diretamente nas imagens de satélite, e posteriormente tratadas e filtradas por tamanhos ou por direções principais.

O mapa de fraturas deste trabalho foi obtido da seguinte forma:

- Preparação da imagem;
- Digitalização em tela;
- Classificação das famílias por direção;
- Atribuição de valores para os intervalos de diferentes densidades.

As bandas utilizadas para a extração das fraturas foram as bandas 4 e 5 do Landsat 7 ETM+, e por meio da utilização do filtro Realce de Imagem TM, que é um filtro linear do tipo passa-alta, desenvolvido especialmente para as imagens do Landsat TM, que realça as feições lineares do terreno.

A máscara utilizada neste caso é:

$$\begin{array}{cccc} 3 & -7 & -7 & 3 \\ -7 & 13 & 13 & -7 \\ -7 & 13 & 13 & -7 \\ 3 & -7 & -7 & 3 \end{array}$$

Depois de realizada a filtragem, é feita a análise do histograma da nova imagem, e aplicado um contraste linear com o intuito de melhorar a nitidez da mesma.

Utiliza-se o modo de edição vetorial do SPRING® para traçar na própria tela do computador os elementos lineares interpretados como traços de fraturas.

A próxima etapa consiste na filtragem por direções dos elementos lineares, por meio de uma rotina implementada no próprio software, denominada ANALIN. O usuário atribui intervalos de direções para as famílias de fraturas, que são então separadas. Para este trabalho, os intervalos foram:

- Norte-Sul → 0° a 10°; 170° a 190° e 350° a 360°;
- Nordeste-Sudoeste → 10° a 80° e 190° a 260°;
- Leste-Oeste → 80° a 100° e 260° a 280°;
- Sudeste-Noroeste → 100° a 170° e 280° a 350°

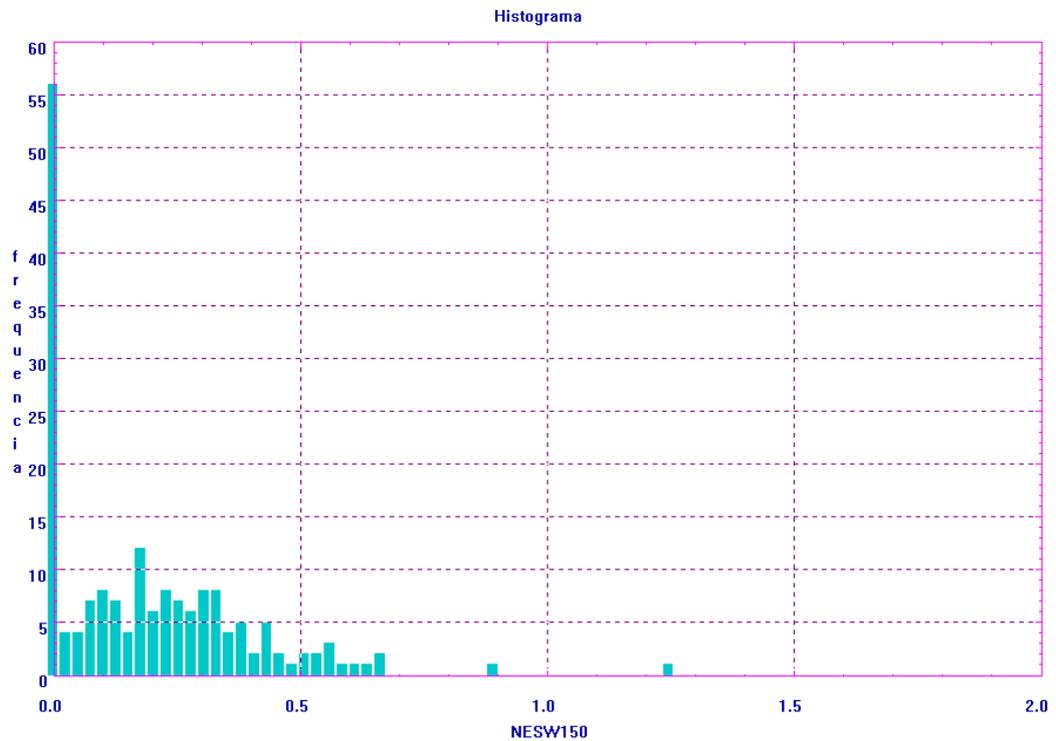
Para a quantificação dos intervalos das densidades de fraturas foi realizado o modelo numérico do terreno com o intuito de transformar os elementos vetoriais em valores numéricos, e por meio da frequência relativa destes elementos estes podem ser quantificados em uma área pré-definida. A ausência de elementos vetoriais é assinalada como valor zero, quando ocorre a presença de um ou mais elementos no interior de uma área esta frequência são atribuídos valores iguais a um, dois, três e assim sucessivamente.

A malha regular utilizada para a quantificação das fraturas foi de 150m x 150m, pois assume os valores médios das áreas das unidades básicas de compartimentação como padrão de referência para esta análise.

Por meio da análise dos histogramas das frequências obtidas para cada unidade básica de compartimentação, e a análise dos picos das frequências nos mesmos histogramas, foram divididos os intervalos.

Assim para as famílias NE/SW foram definidas três classes, com os seguintes valores:

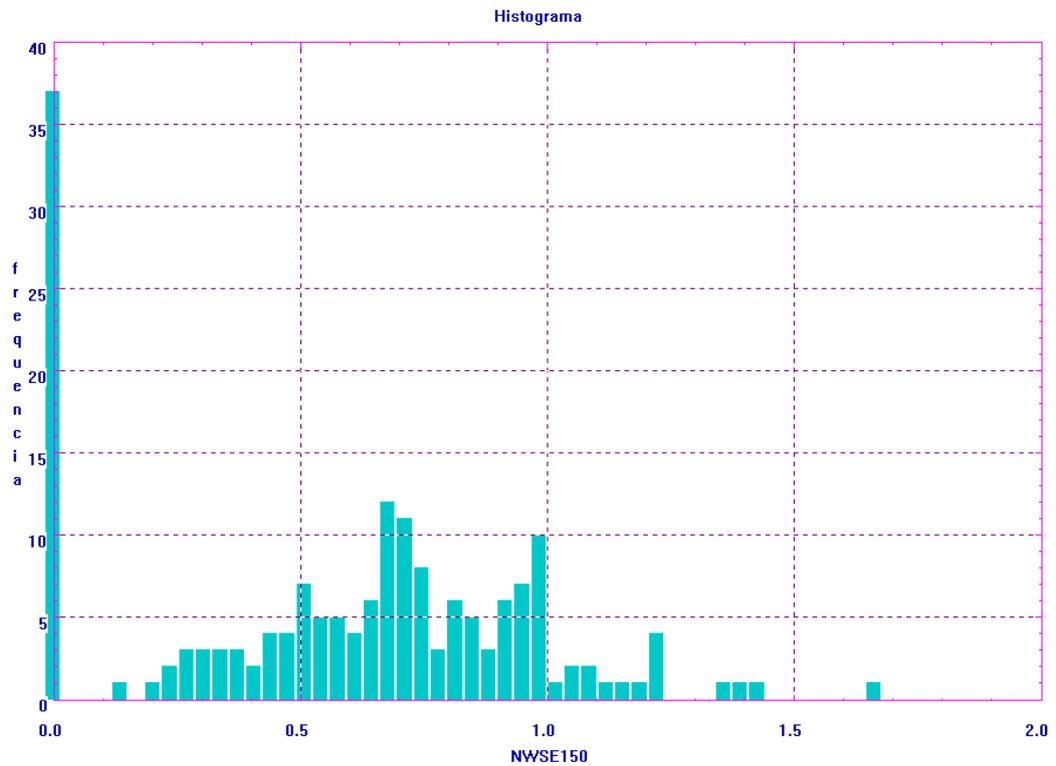
- Alto →  $\geq 0,33$
- Médio → 0,19 a 0,33
- Baixo → 0,0 a 0,19



**Fig 4.18** – Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NE/SW

Para as famílias NW/SE foram também definidas três classes, cujos intervalos foram atribuídos usando também o mesmo procedimento, mas como esta família a quantidade de fraturas é maior, então os intervalos e os valores mudam. Na seqüência temos os intervalos para esta família:

- Alto →  $\geq 0,95$
- Médio → 0,55 a 0,95
- Baixo → 0,0 a 0,55



**Fig 4.19** – Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NW/SE

Para as famílias N/S, assim como para as famílias E/W, não foram feitos tratamentos em separado para a definição das classes, já que o produto a ser analisado para essas famílias provêm do cruzamento entre essas duas direções.

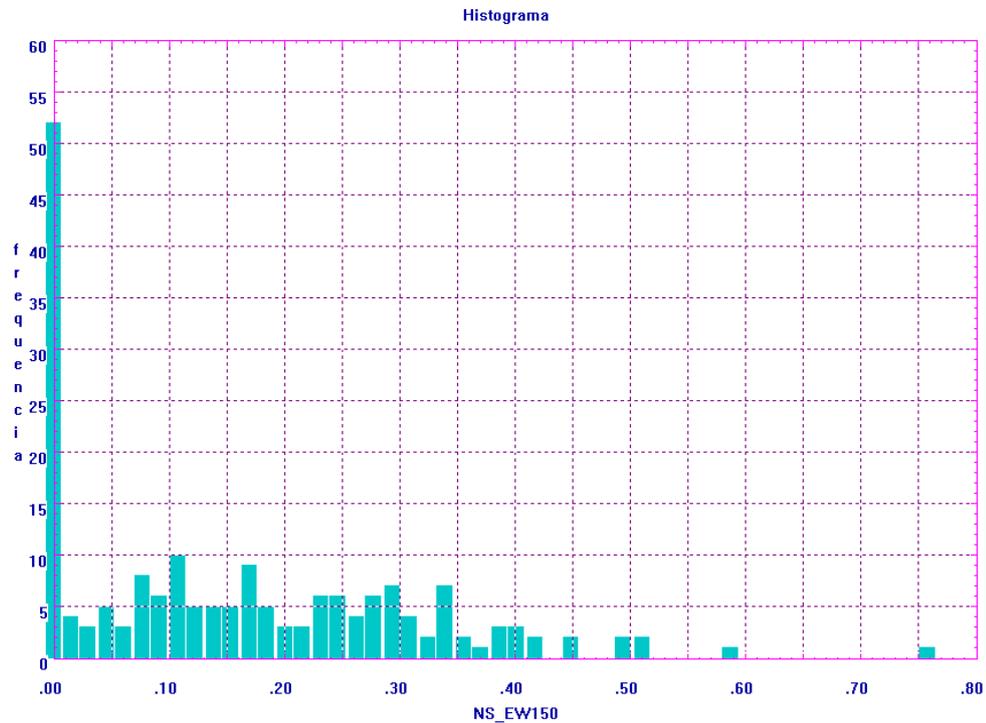
Então, primeiramente foi feita a soma das duas direções através de rotina de programação LEGAL, e ao resultado obtido foi realizado a divisão de classes com a análise do histograma, e então três intervalos foram também atribuídos.

Os intervalos para a soma das fraturas N/S-E/W foram:

Alto →  $\geq 0,29$

Médio → 0,11 a 0,29

Baixo → 0,0 a 0,11



**Fig 4.20** – Histograma de frequência de fraturas por UBC, malha 150m x 150m, das famílias NS\_EW

Estes valores também foram armazenados em objetos no interior do banco de dados, vinculados diretamente com as unidades básicas de compartimentação. Este tipo de vínculo é criado por meio de programas na linguagem do software (LEGAL), e se tornam atributos que irão conduzir os processos de consulta. Estes valores de frequência de fraturamento ficam armazenados no banco também na forma de tabelas. (**Fig. 4.21**).

ID	UBC	FREQ150	NS150	EW150	NESW1E	NWSE1E	NS_Ew	
88	502	SKM4	1.538462	0.076923	0.145299	0.384615	0.931624	0.22802
89	503	SKM7	1.432099	0.037037	0.308642	0.345679	0.740741	0.32080
90	504	SKM4	1.307692	0.054945	0.000000	0.516484	0.736264	0.06075
91	505	SKM1	1.287500	0.062500	0.112500	0.387500	0.725000	0.17273
92	506	SMC6	1.000000	0.166667	0.125000	0.041667	0.666667	0.29740
93	336	LMI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00000
94	507	SKE6	1.261364	0.068182	0.238636	0.431818	0.522727	0.30572
95	508	SKM3	1.402174	0.076087	0.195652	0.271739	0.858696	0.27330
96	509	SML2	0.880952	0.035714	0.142857	0.154762	0.547619	0.18943
97	510	SCR	0.647887	0.056338	0.056338	0.042254	0.492958	0.11608
98	511	SAE4	1.373333	0.106667	0.053333	0.240000	0.973333	0.17621
99	512	SML5	0.944954	0.256881	0.027523	0.091743	0.568807	0.29487
100	513	SKM8	1.505155	0.144330	0.082474	0.247423	1.030928	0.22503
101	514	SAL1	1.244186	0.139535	0.139535	0.255814	0.709302	0.28099
102	516	SAL3	1.187097	0.090323	0.077419	0.316129	0.703226	0.16499
103	319	LMI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00000
104	337	LMI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00000
105	517	SKM9	1.415842	0.118812	0.108911	0.287129	0.900990	0.22465
106	518	SCR	1.372340	0.351064	0.063830	0.180851	0.776596	0.40759

**Fig. 4.21.** – Objeto que armazena a frequência de fraturas no interior do banco de dados, informações que serão recuperadas na consulta.

#### 4.4.3.3. - Cartas de suscetibilidade a movimentos de massa

Esta carta foi elaborada por meio do cruzamento de todos os tipos de dados existentes na estrutura do banco de dados, desde os obtidos pela fotointerpretação, além dos produtos auxiliares e informações de campo. Como sua estruturação efetuada pelos métodos heurísticos, pela estrutura da árvore lógica de decisões, foram constatadas todas as consultas possíveis para cada processo modelado, onde o conhecimento do operador do banco conduz as respostas lógicas possíveis para cada fator de análise.

Foram elaborados três produtos finais:

- Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NE/SW
- Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NW/SE
- Carta de suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos

Conhecer e entender o processo geológico é de fundamental importância, reconhecer as variáveis físicas do terreno em estudo, envolvidas no tipo de processo e priorizar o sua importância é o primeiro passo. Cada tipo de processo deve ser estudo em separado, pois as respostas, ou caminhos lógicos serão diferentes para cada tipo de movimento de massa, conduzindo assim diferentes consultas ao banco.

Para as cartas de suscetibilidade a tombamentos as informações selecionadas, por ordem de importância no banco de dados foram: declividade, exposição da vertente, grau de fraturamento, forma da encosta e profundidade de alteração. Outras variáveis poderiam ter complementado o estudo, mas quanto mais variáveis envolvermos no processo mais ampla será a estrutura da árvore lógica de decisões, acarretando assim, consultas não necessárias. Então muitas vezes a simplificação é um fator importante.

O tipo de relacionamento utilizado é o de um para muitos, a cada nova variável inserida no processo um novo ramo de associação de um para muitos é criado. Neste trabalho será apresentada a árvore lógica apenas das consultas que levam a um resultado, pois nem todos os ramos da árvore levam a uma resposta no banco, por não possuírem unidades que satisfaçam a consulta, ou seja, não permitem uma resposta lógica.

Sabendo que os tombamentos estão associados a altas declividades, perfis de alteração rasos ou medianos, e que normalmente também se associam as vertentes mais

retilíneas e côncavas, o fator crucial para a modelagem deste processo e entender a geometria das estruturas regionais e locais (padrão de fraturamento) e sua concordância com a direção preferencial das vertentes. Assim, pode-se compreender se ocorrerá ou não a liberação de blocos das vertentes com as características já explicitadas acima. (Figuras 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27)

Para a análise dos escorregamentos translacionais planares rasos, os atributos a serem recuperados no banco são: declividade, exposição da vertente, grau de fraturamento, na direção NS – EW, profundidade de alteração superficial e litologia.

Associa-se o padrão de duas direções de fraturamento, capazes de gerar blocos no talude e sua possível liberação em relação a exposição da vertente, em seguida, observa-se a presença ou não de planos de descontinuidade no interior do maciço, onde possa ocorrer a movimentação do bloco individualizado, por meio de xistosidades, foliações ou descontinuidade do tipo saprólito-solo residual. (Figura 4.28, 4.29 e 4.30)

A declividade e a profundidade de alteração são fatores agravantes, no processo estudado.



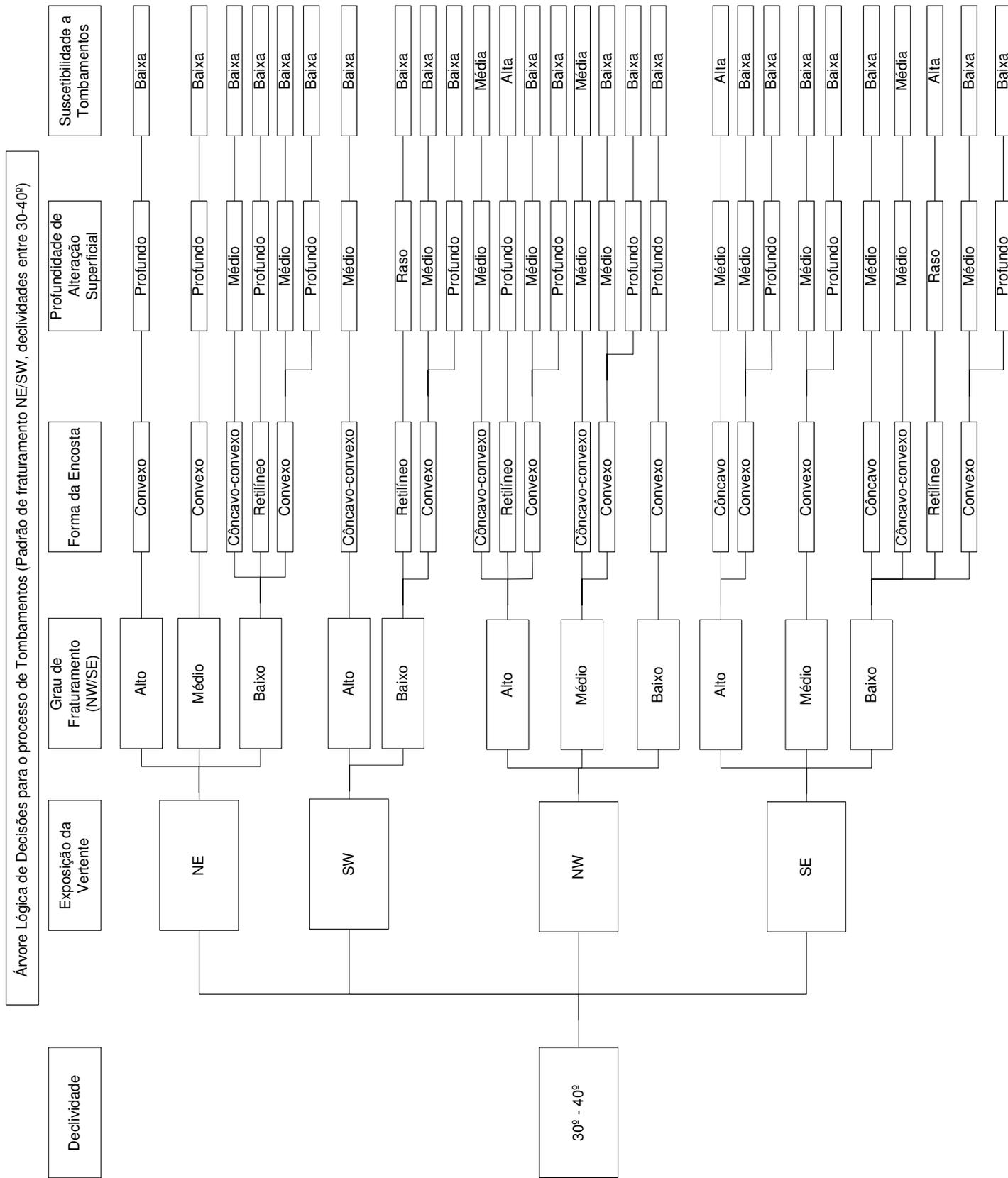


Fig. 4.23 – Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NE/SW) – cont.

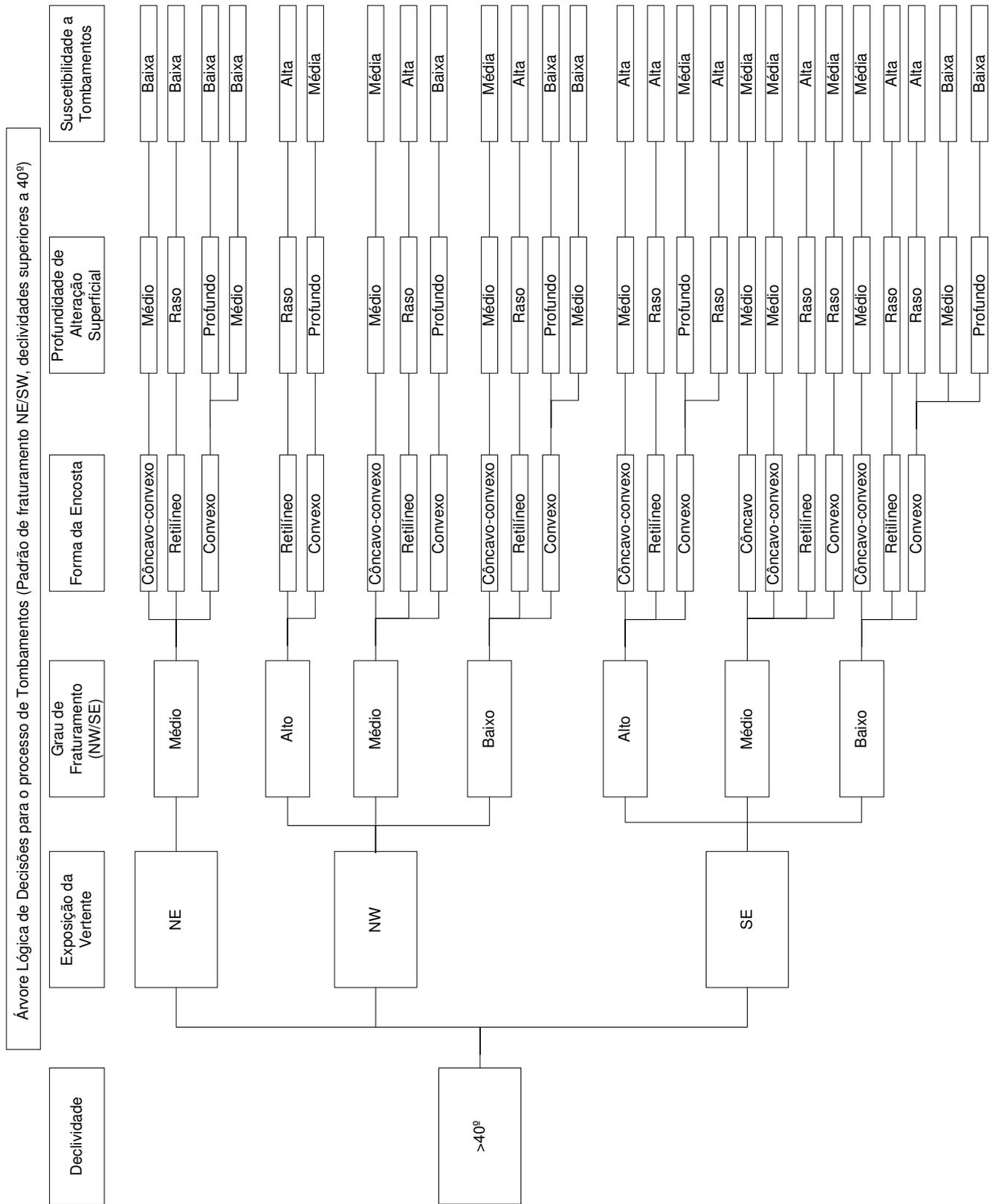


Fig. 4.24 – Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NE/SW) – cont.

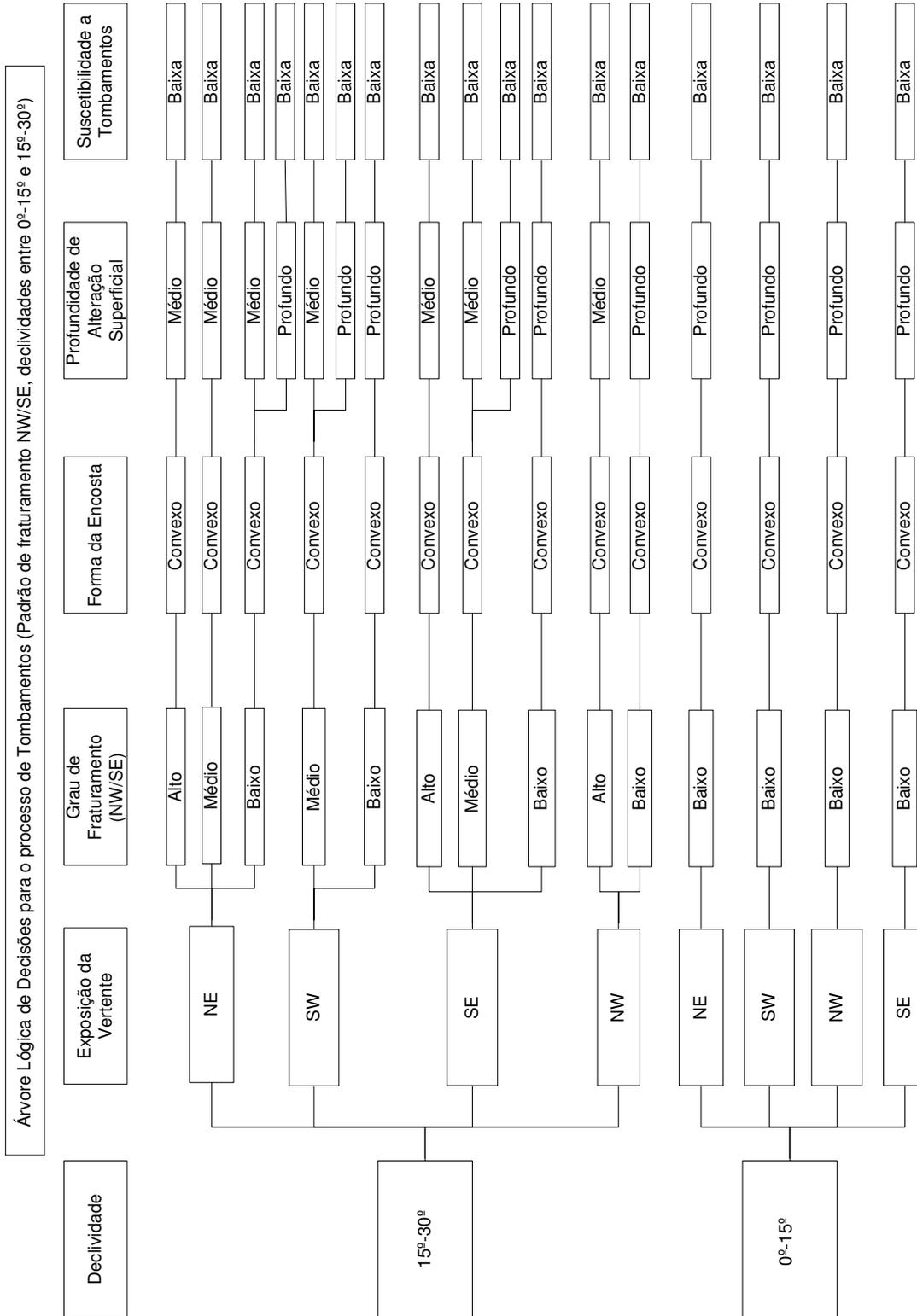


Fig. 4.25 – Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NW/SE)



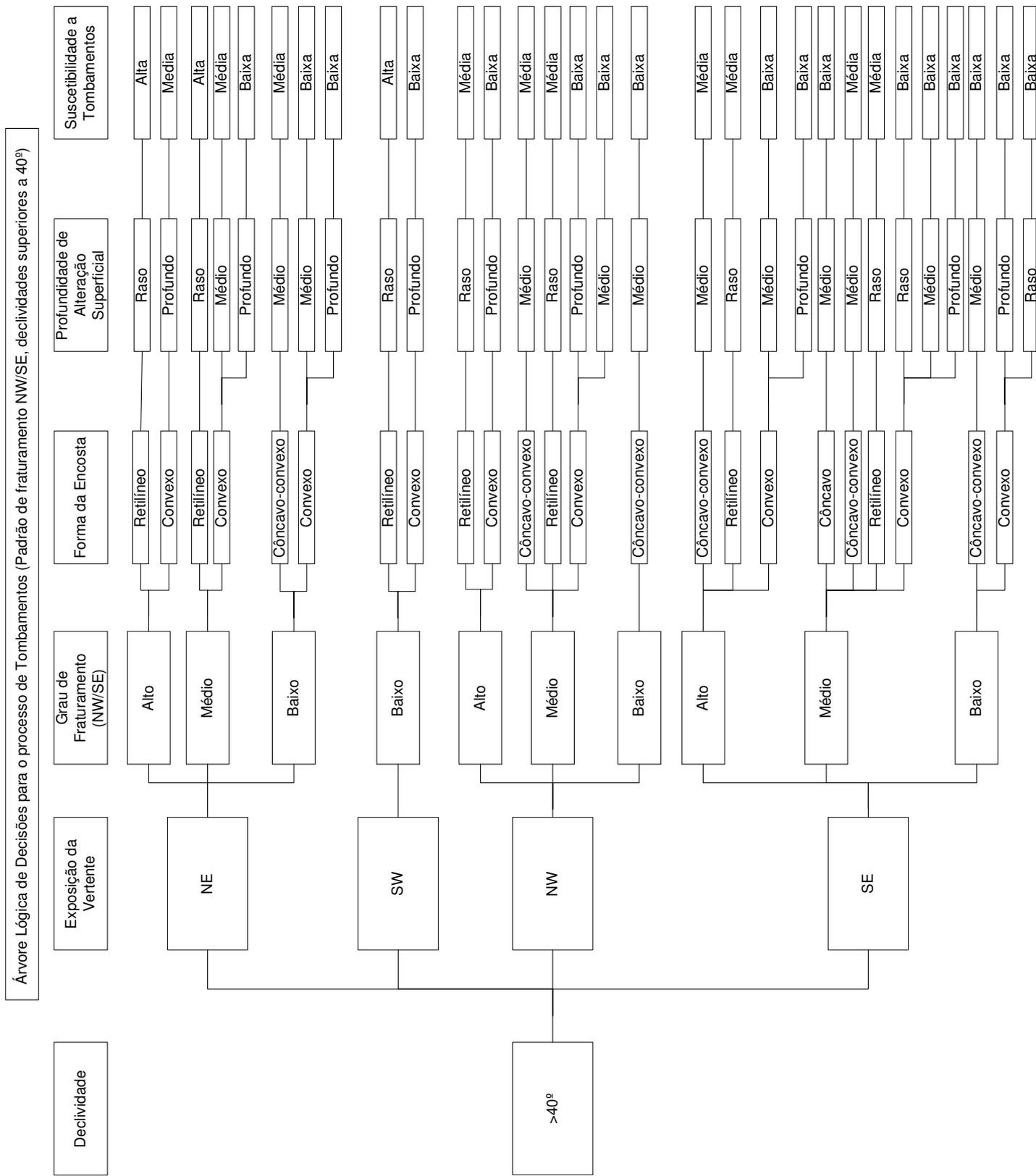
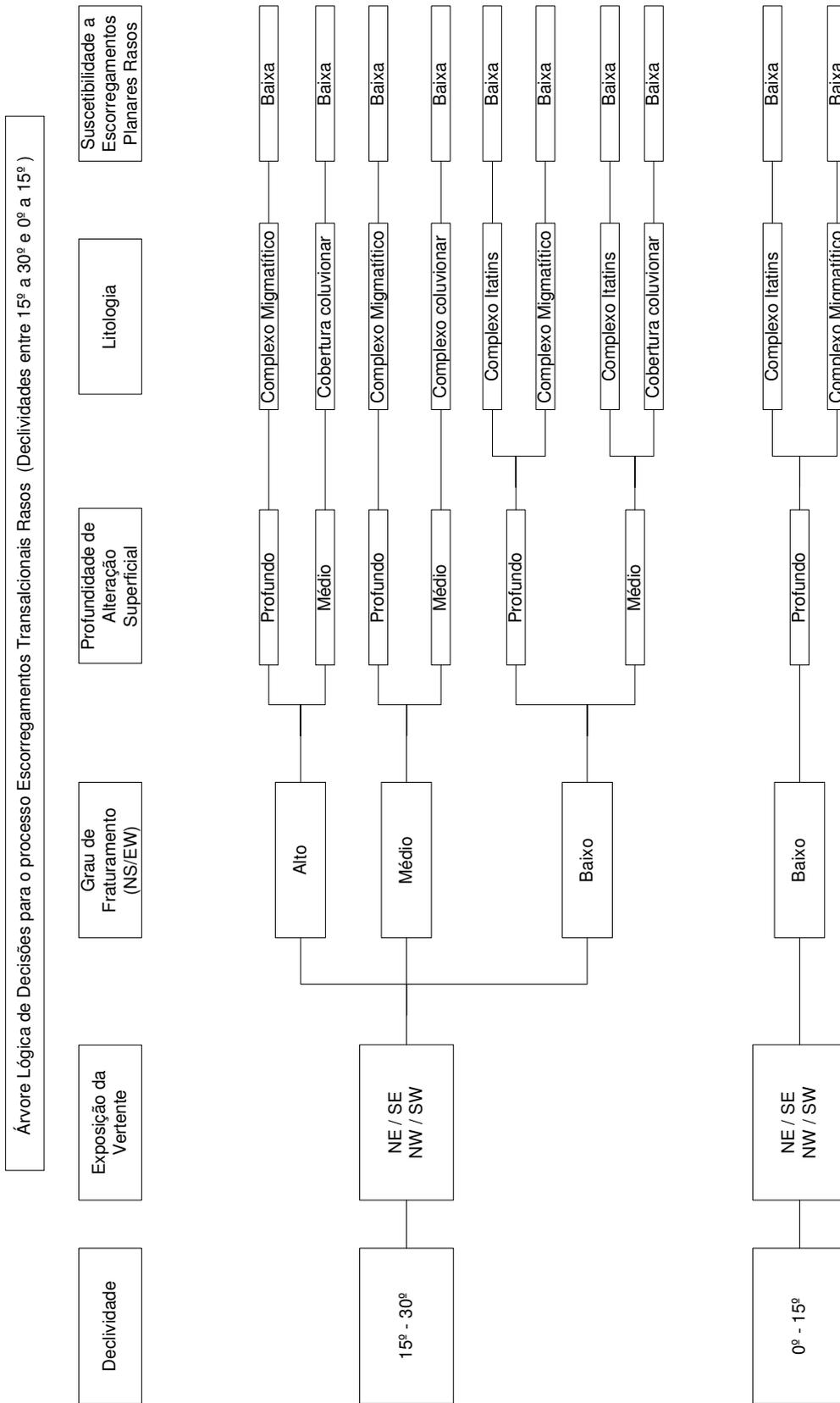


Fig. 4.27 – Árvore lógica de decisões para o processo de Tombamentos (Padrão de fraturas NW/SE) – cont.



**Fig. 4.28** – Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso

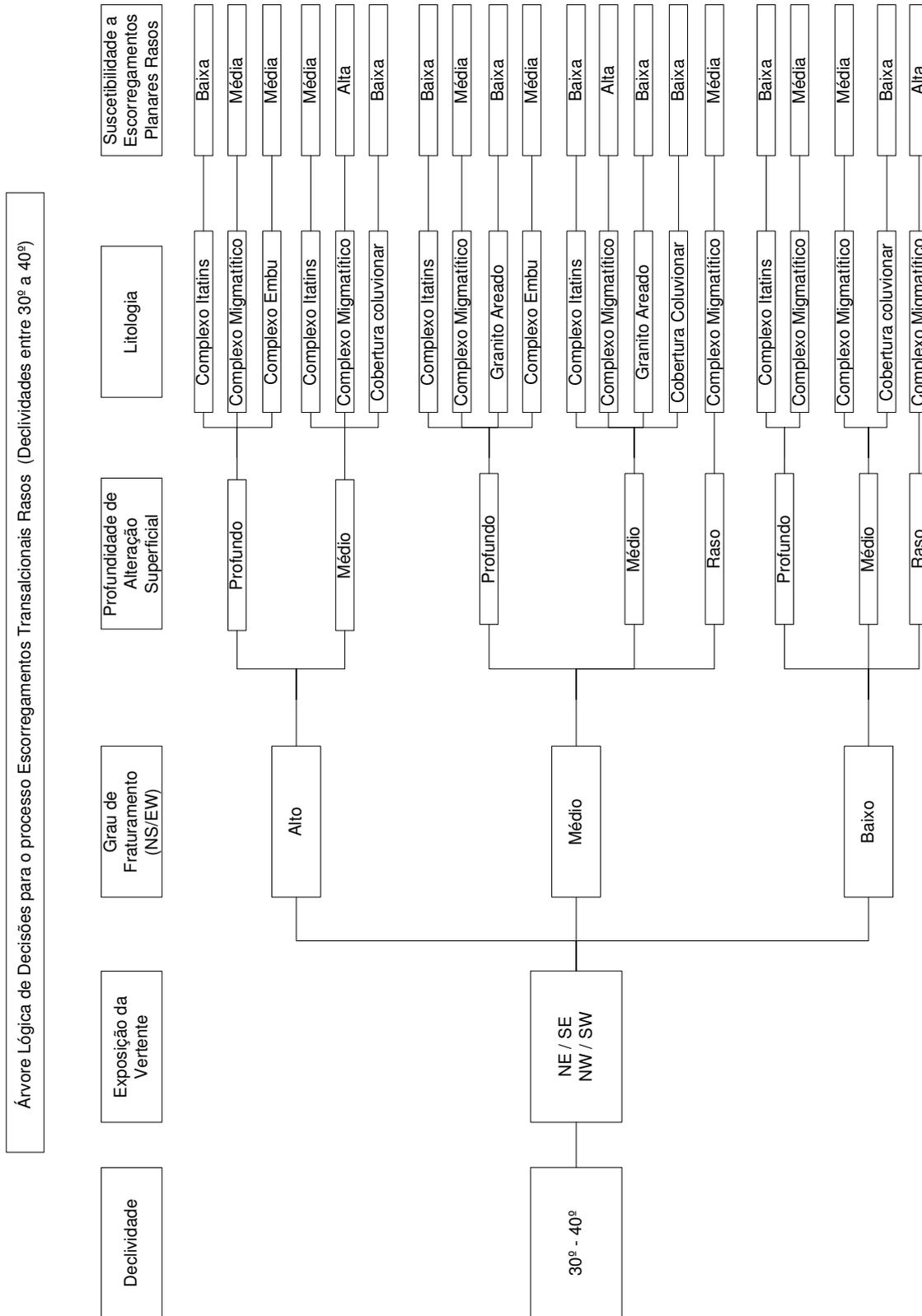


Fig. 4.29 – Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso – cont.

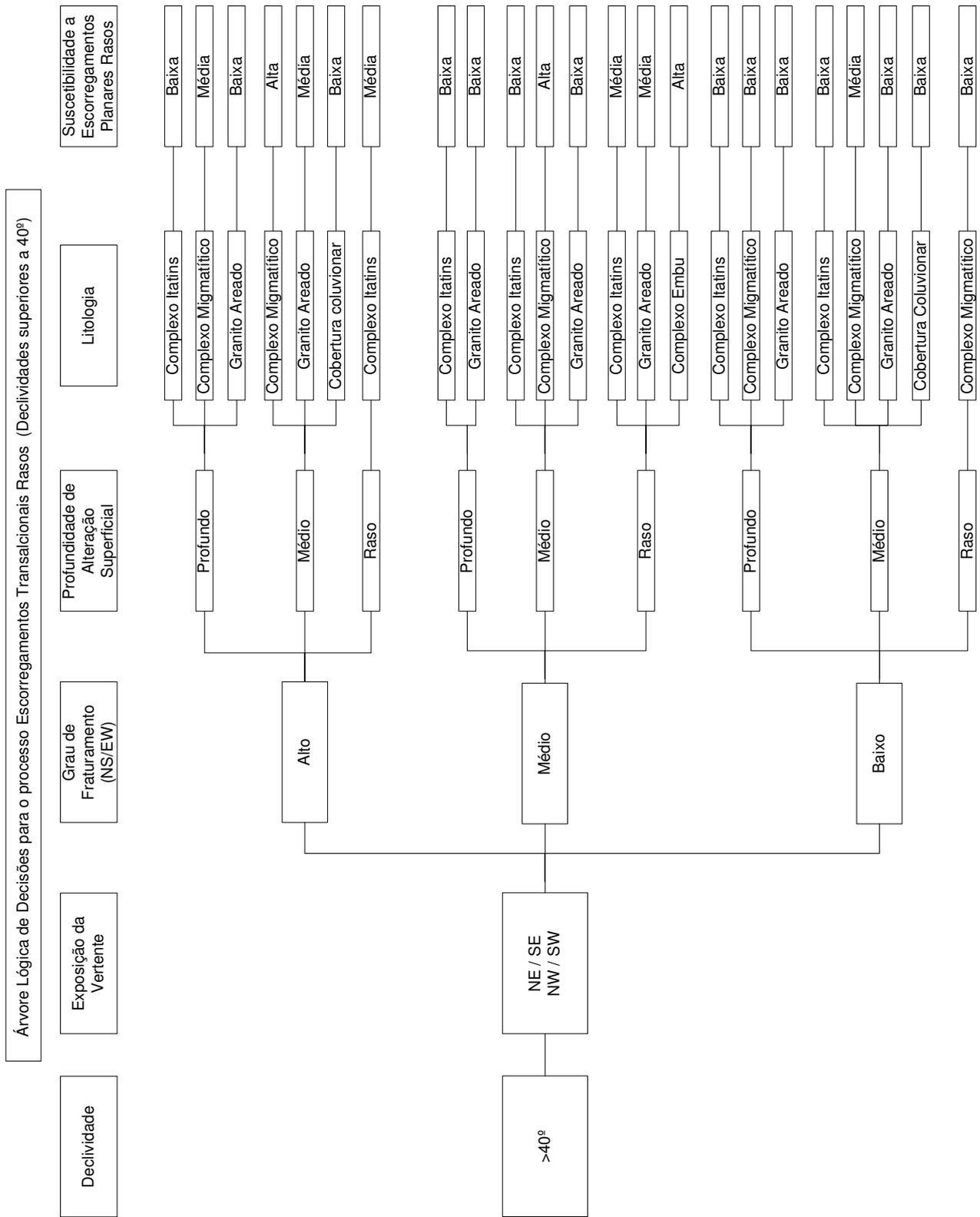


Fig. 4.30 – Árvore lógica de decisões para o processo de Escorregamento translacional raso – cont.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. – Resultados

#### 5.1.1. – Compartimentação fisiográfica

As classes definidas para cada atributo das unidades básicas de compartimentação, na etapa de compartimentação fisiográfica, já descrita no item anterior, estão apresentadas na Tabela 5.1.

**TABELA 5.1 – DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBC), NAS IMAGENS DE SATÉLITE.**

UBC	Elemento de análise	Densidade	Tropia	Forma das encostas	Tipo de topo
PXC <sub>1</sub>	d/r	A	MO	X	RX
PXC <sub>2</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SXE <sub>1</sub>	d/r	A	MO	R	CA
SXE <sub>2</sub>	d/r	MA	MO	R	CA
SXC <sub>1</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SAC <sub>1</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SAC <sub>2</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SAC <sub>3</sub>	d/r	M	PO	X	CX
SAL <sub>1</sub>	d/r	A	MO	R	CX
SAL <sub>2</sub>	d/r	M	PO	X	CX
SAL <sub>3</sub>	d/r	M	NO	V	CX
SAE <sub>1</sub>	d/r	MA	MO	R	CX
SAE <sub>2</sub>	d/r	MA	MO	VX	RX
SAE <sub>3</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SAE <sub>4</sub>	d/r	MA	MO	VX	CX
SAE <sub>5</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SAE <sub>6</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SAE <sub>7</sub>	d/r	A	NO	V	RX
SMC <sub>1</sub>	d/r	M	NO	X	CX
SMC <sub>2</sub>	d/r	A	PO	VX	CA
SMC <sub>3</sub>	d/r	M	PO	X	RX
SMC <sub>4</sub>	d/r	A	NO	VX	RX
SMC <sub>5</sub>	d/r	M	PO	X	CX
SMC <sub>6</sub>	d/r	M	MO	X	RX
SMC <sub>7</sub>	d/r	B	NO	X	RX
SMC <sub>8</sub>	d/r	A	PO	VX	CX
SMC <sub>9</sub>	d/r	B	PO	X	RX
SML <sub>1</sub>	d/r	A	MO	R	CX

SML <sub>2</sub>	d/r	M	NO	VX	CX
SML <sub>3</sub>	d/r	M	PO	VX	CA
SML <sub>4</sub>	d/r	A	MO	VX	CX
SML <sub>5</sub>	d/r	A	MO	VX	CA
SML <sub>6</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SML <sub>7</sub>	d/r	M	PO	X	RX
SML <sub>8</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SML <sub>9</sub>	d/r	A	MO	R	CX
SKE <sub>1</sub>	d/r	M	PO	X	CA
SKE <sub>2</sub>	d/r	M	PO	R	RA
SKE <sub>3</sub>	d/r	M	MO	R	CA
SKE <sub>4</sub>	d/r	A	PO	VX	RX
SKE <sub>5</sub>	d/r	MA	MO	R	CX
SKE <sub>6</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SKE <sub>7</sub>	d/r	M	PO	X	CX
SKE <sub>8</sub>	d/r	A	NO	X	RX
SKE <sub>9</sub>	d/r	A	NO	V	RX
SKE <sub>10</sub>	d/r	A	NO	R	RA
SKE <sub>11</sub>	d/r	M	NO	R	RA
SKE <sub>12</sub>	d/r	A	PO	X	CA
SKE <sub>13</sub>	d/r	MA	MO	VX	CA
SKE <sub>14</sub>	d/r	MA	MO	X	CA
SKE <sub>15</sub>	d/r	A	NO	VX	CX
SKM <sub>1</sub>	d/r	M	MO	R	CA
SKM <sub>2</sub>	d/r	A	PO	R	CA
SKM <sub>3</sub>	d/r	A	PO	X	RX
SKM <sub>4</sub>	d/r	MA	NO	VX	RA
SKM <sub>5</sub>	d/r	M	MO	VX	CA
SKM <sub>6</sub>	d/r	M	PO	VX	RA
SKM <sub>7</sub>	d/r	M	NO	X	RX
SKM <sub>8</sub>	d/r	MA	PO	VX	CX
SKM <sub>9</sub>	d/r	A	PO	R	RX
SKM <sub>10</sub>	d/r	M	PO	R	RA
SKM <sub>11</sub>	d/r	A	NO	VX	RX
SKM <sub>12</sub>	d/r	A	MO	R	CA
LTS	Tonal/d	MB	NO	-	-
LFL	Tonal/d	MB	NO	-	-
LDT	Tonal/d	-	-	-	-
LDP	Tonal/d	-	-	-	-
LCR	Tonal/d	MB	NO	-	-
SCR	Tonal/d	MB	NO	-	-

Onde d=drenagem; r=relevo; MA = Muito Alta; A = alta; M = média; B = Baixa; MB = muito baixa; MO = muito orientado; O = orientado; PO = pouco orientado; NO = Não orientado; R = retilínea; V = côncava; X = convexa; VX côncavo-convexa; RX = restrito convexo; CX = contínuo convexo; RA = restrito agudo; CA = contínuo agudo.

Abaixo segue a Figura 5.1, referente ao mapa das unidades básicas de compartimentação (UBC), obtido por meio das etapas de compartimentação fisiográfica do terreno, apresentado em escala 1:150000.



**Fig 5.1** – Mapa de unidades básicas de compartimentação para o município de Peruíbe.

## 5.1.2. – Caracterização geotécnica

A Tabela 5.2 apresenta os resultados obtidos na etapa realizada de inferências geotécnicas sobre as unidades básicas de compartimentação, com base na fundamentação teórica descrita no capítulo anterior.

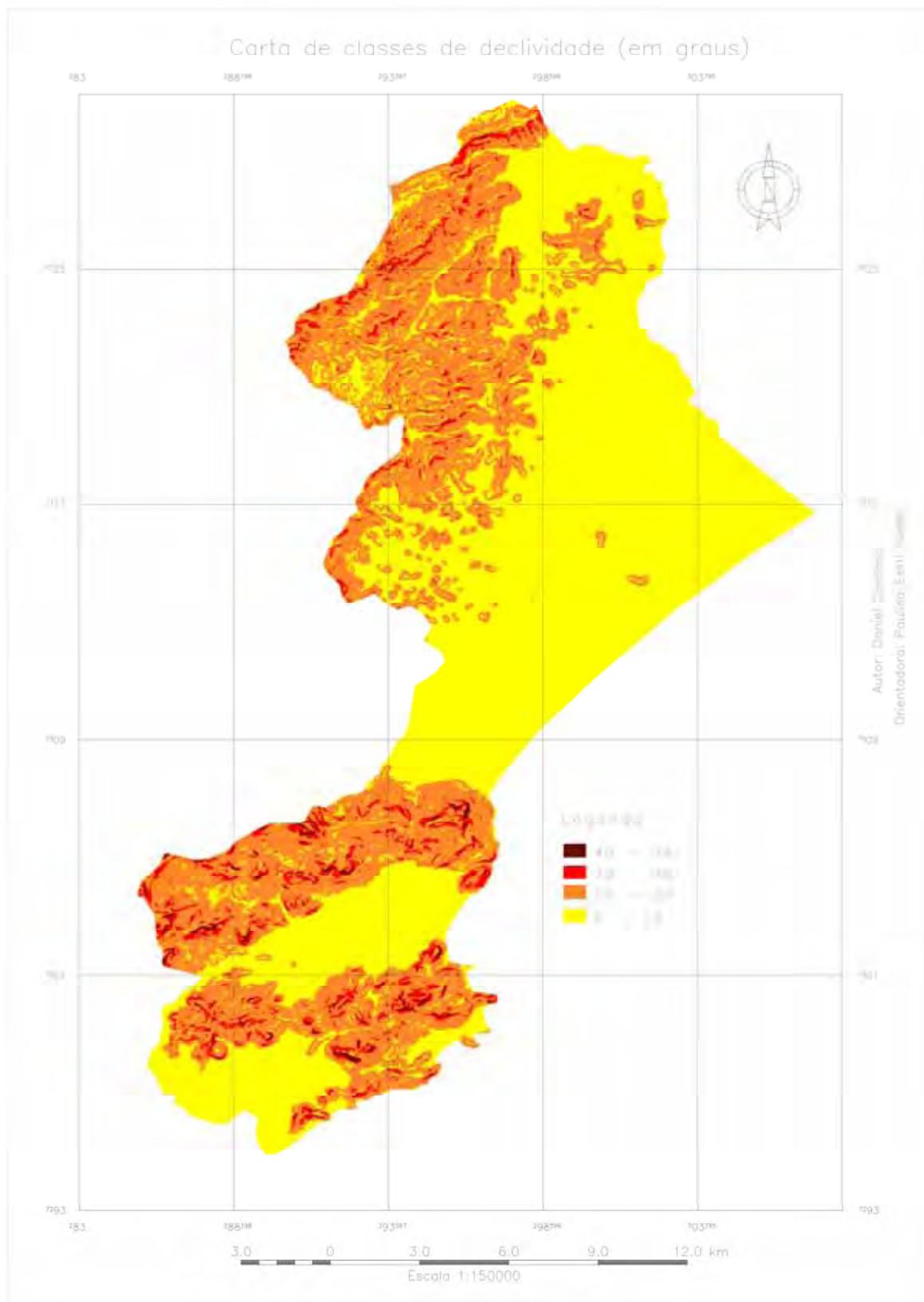
**TABELA 5.2 – PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS INFERIDAS PARA AS UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBCs)**

UBC	Permeabilidade	Declividade	Profundidade do manto de alteração	Grau de alterabilidade
PXC <sub>1</sub>	Baixa	Média	Profundo	Alto
PXC <sub>2</sub>	Baixa	Média	Profundo	Alto
SXE <sub>1</sub>	Baixa	Alta	Raso	Baixo
SXE <sub>2</sub>	Muito baixa	Alta	Raso	Baixo
SXC <sub>1</sub>	Baixa	Média	Profundo	Alto
SAC <sub>1</sub>	Baixa	Alta	Profundo	Alto
SAC <sub>2</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SAC <sub>3</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SAL <sub>1</sub>	Baixa	Alta	Raso	Médio
SAL <sub>2</sub>	Média	Baixa	Profundo	Alto
SAL <sub>3</sub>	Média	Média	Médio	Médio
SAE <sub>1</sub>	Muito baixa	Alta	Raso	Médio
SAE <sub>2</sub>	Muito baixa	Média	Médio	Médio
SAE <sub>3</sub>	Média	Baixa	Profundo	Alto
SAE <sub>4</sub>	Muito baixa	Alta	Médio	Médio
SAE <sub>5</sub>	Baixa	Média	Profundo	Alto
SAE <sub>6</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SAE <sub>7</sub>	Baixa	Média	Médio	Médio
SMC <sub>1</sub>	Média	Baixa	Profundo	Alto
SMC <sub>2</sub>	Baixa	Baixa	Médio	Baixo
SMC <sub>3</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SMC <sub>4</sub>	Baixa	Média	Médio	Alto
SMC <sub>5</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SMC <sub>6</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SMC <sub>7</sub>	Alta	Média	Profundo	Alto
SMC <sub>8</sub>	Baixa	Baixa	Médio	Médio
SMC <sub>9</sub>	Alta	Baixa	Profundo	Alto
SML <sub>1</sub>	Baixa	Alta	Raso	Médio
SML <sub>2</sub>	Média	Média	Médio	Médio
SML <sub>3</sub>	Média	Média	Médio	Baixo
SML <sub>4</sub>	Baixa	Média	Médio	Alto
SML <sub>5</sub>	Baixa	Alta	Médio	Baixo

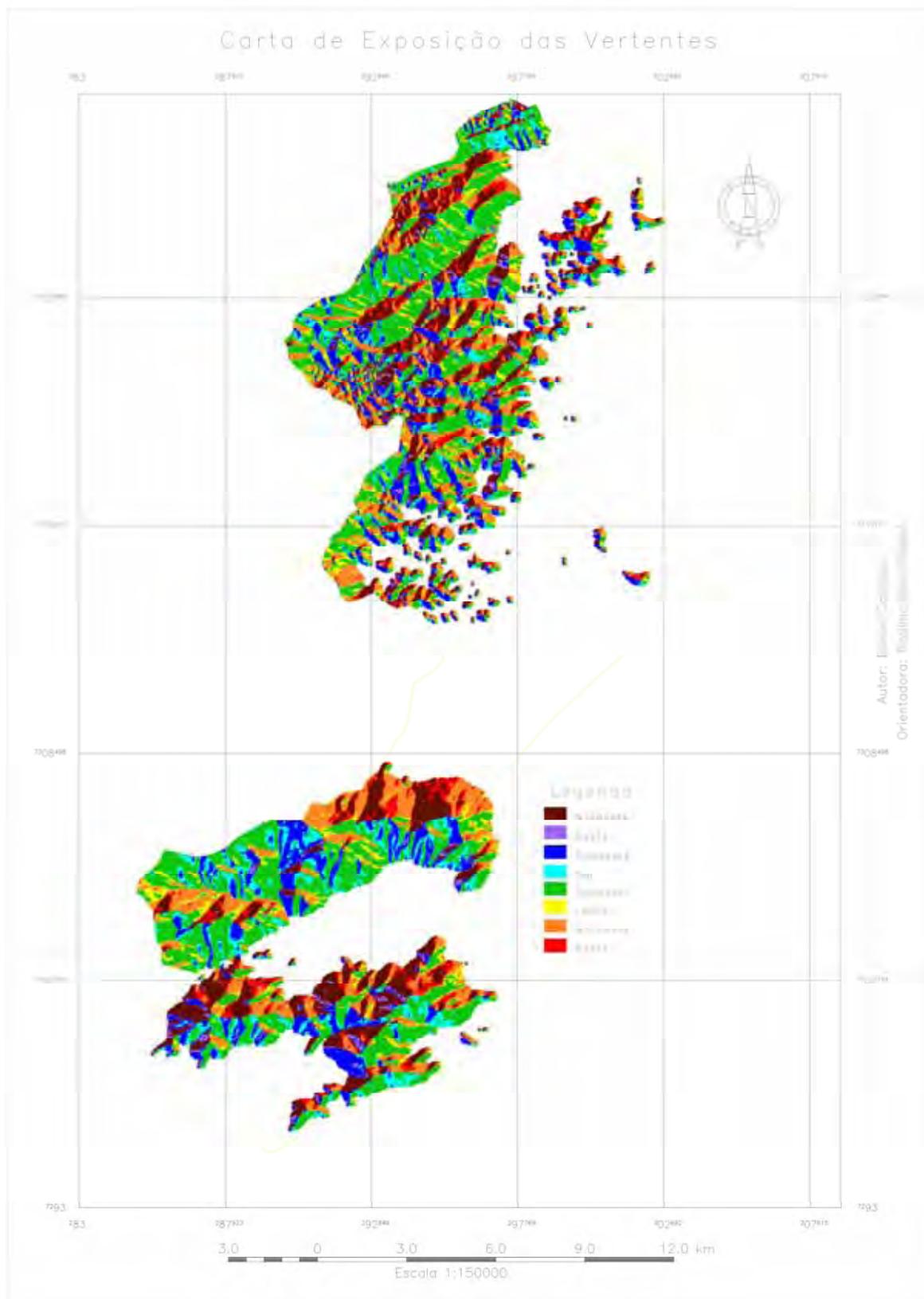
SML <sub>6</sub>	Baixa	Alta	Profundo	Alto
SML <sub>7</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SML <sub>8</sub>	Média	Alta	Profundo	Alto
SML <sub>9</sub>	Baixa	Alta	Raso	Médio
SKE <sub>1</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKE <sub>2</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKE <sub>3</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKE <sub>4</sub>	Baixa	Alta	Médio	Médio
SKE <sub>5</sub>	Muito baixa	Baixa	Raso	Médio
SKE <sub>6</sub>	Média	Média	Profundo	Alto
SKE <sub>7</sub>	Média	Alta	Profundo	Alto
SKE <sub>8</sub>	Baixa	Baixa	Profundo	Alto
SKE <sub>9</sub>	Baixa	Alta	Médio	Alto
SKE <sub>10</sub>	Baixa	Alta	Raso	Baixo
SKE <sub>11</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKE <sub>12</sub>	Baixa	Alta	Profundo	Médio
SKE <sub>13</sub>	Muito baixa	Alta	Médio	Baixo
SKE <sub>14</sub>	Muito baixa	Alta	Profundo	Médio
SKE <sub>15</sub>	Baixa	Alta	Médio	Alto
SKM <sub>1</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKM <sub>2</sub>	Baixa	Alta	Raso	Baixo
SKM <sub>3</sub>	Baixa	Alta	Profundo	Alto
SKM <sub>4</sub>	Muito baixa	Média	Médio	Médio
SKM <sub>5</sub>	Média	Alta	Médio	Médio
SKM <sub>6</sub>	Média	Alta	Médio	Baixo
SKM <sub>7</sub>	Média	Baixa	Profundo	Alto
SKM <sub>8</sub>	Muito baixa	Alta	Médio	Alto
SKM <sub>9</sub>	Baixa	Média	Raso	Médio
SKM <sub>10</sub>	Média	Alta	Raso	Baixo
SKM <sub>11</sub>	Baixa	Alta	Médio	Alto
SKM <sub>12</sub>	Baixa	Alta	Raso	Baixo
SCR	Alta	Baixa	Médio	Médio
LMI	Alta	Baixa	Profundo	Alto

### 5.1.3. - Cartografia temática e de síntese

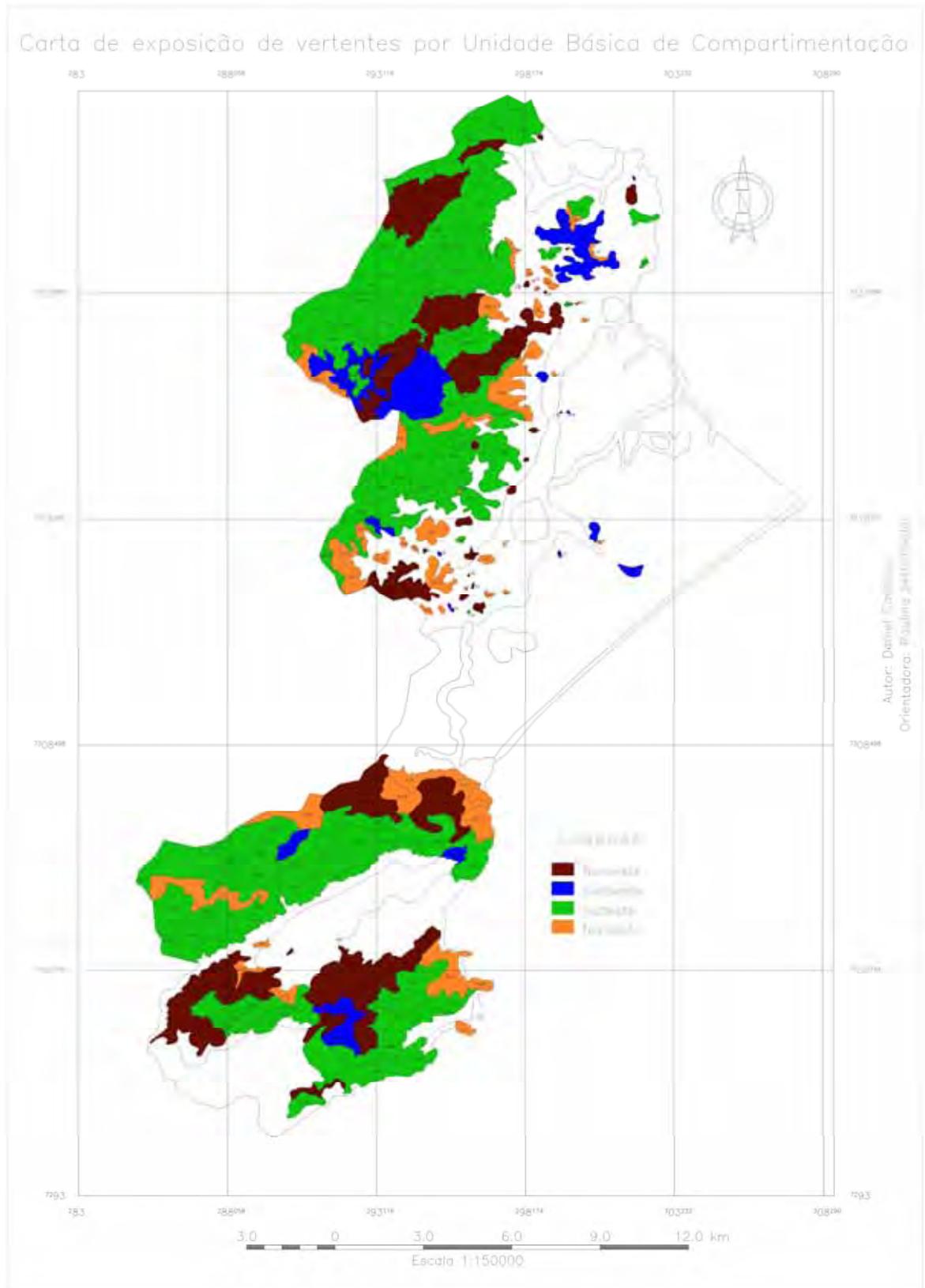
Todos os produtos gerados nesta etapa de trabalho serão apresentados na escala de 1:150000, e a síntese das informações contidas nos mesmos serão relacionadas no subitem discussão dos resultados. Seguem-se as Figuras 5.2 a 5.5, referentes aos mapas intermediários produzidos e as Figuras 5.6 a 5.8, correspondentes aos mapas de suscetibilidade gerados pelos cruzamentos efetuados.



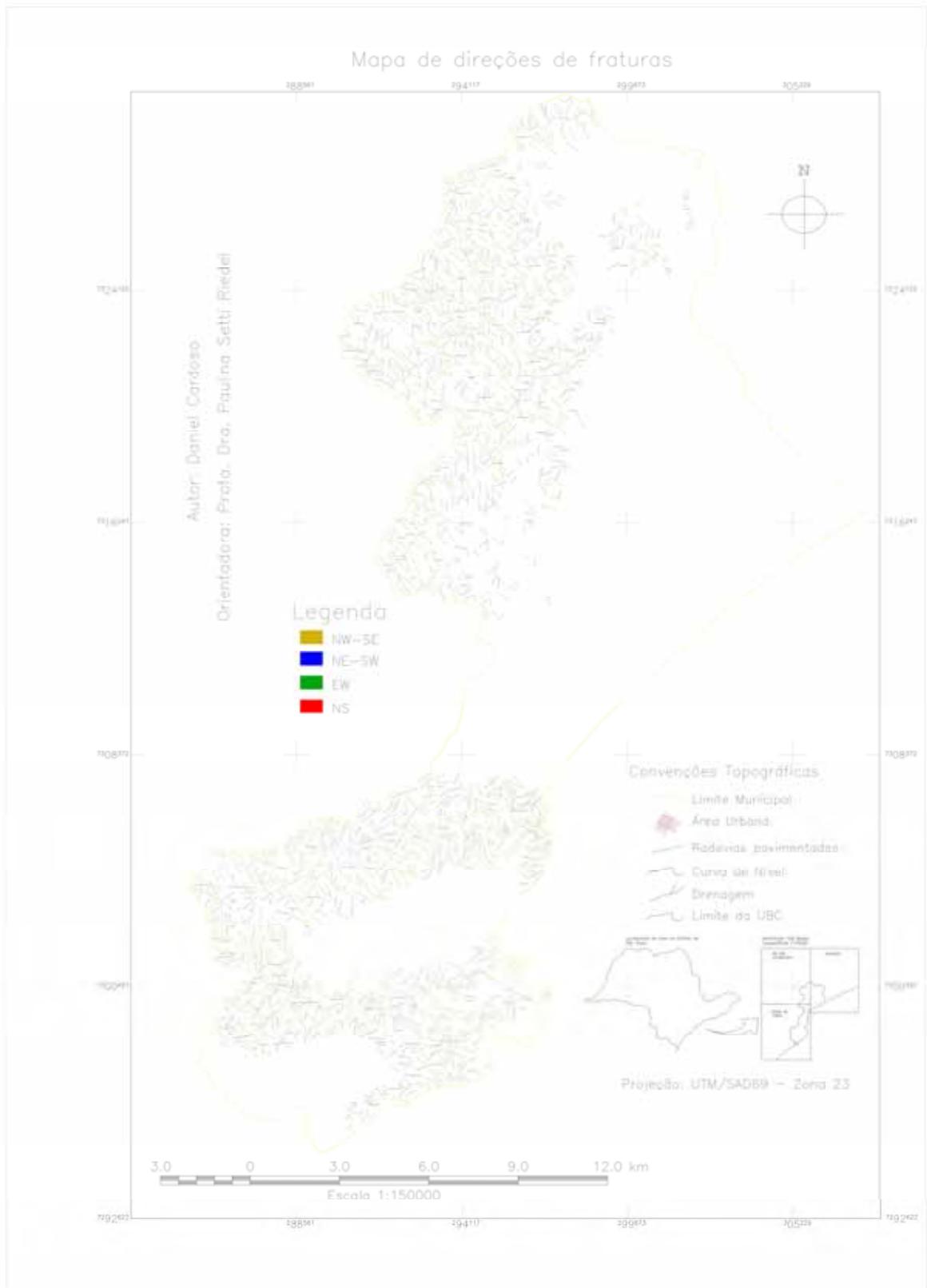
**Fig 5.2** – Carta de classes de declividade do município de Peruíbe.



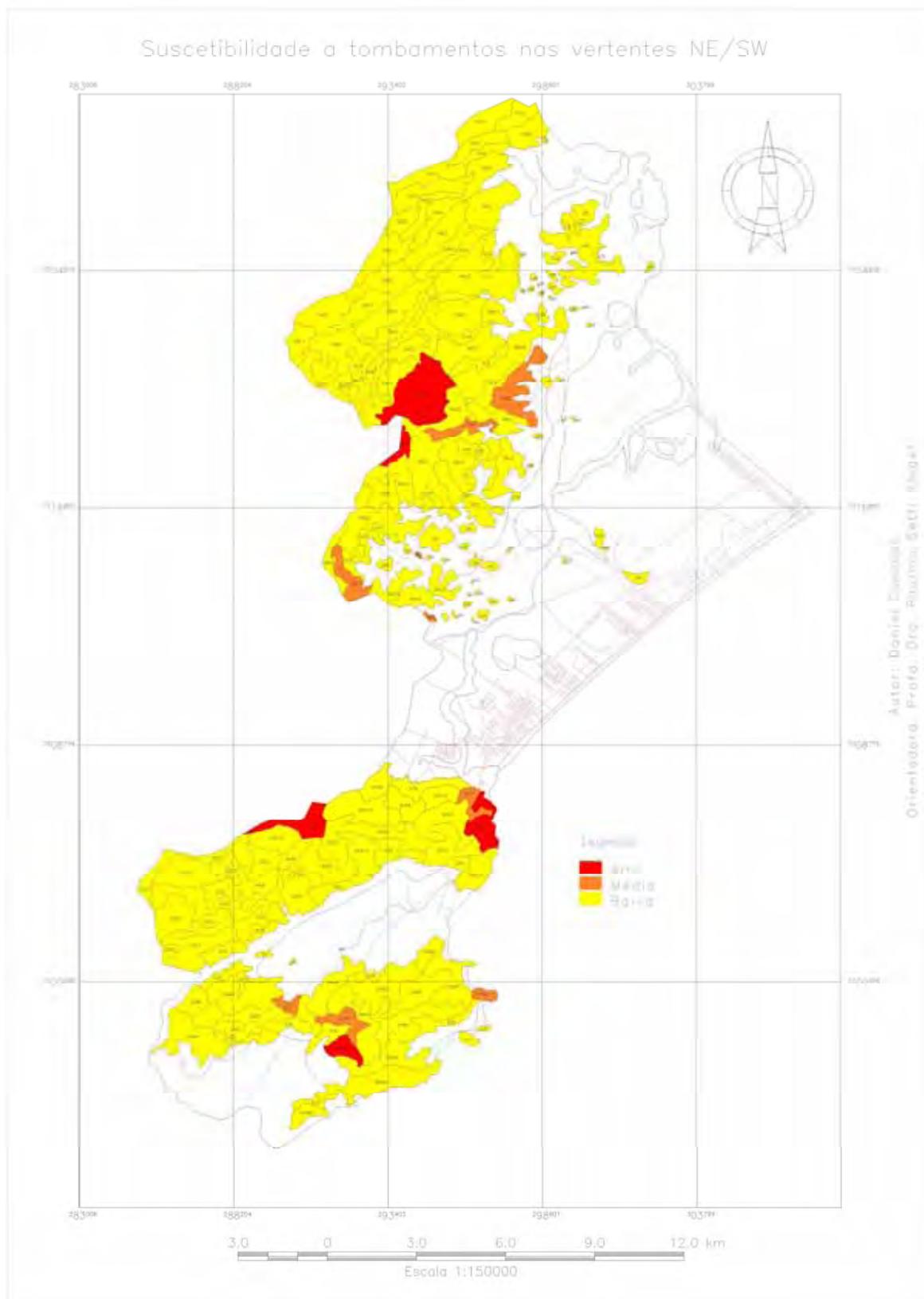
**Fig. 5.3** – Carta de exposição das vertentes para o município de Peruíbe.



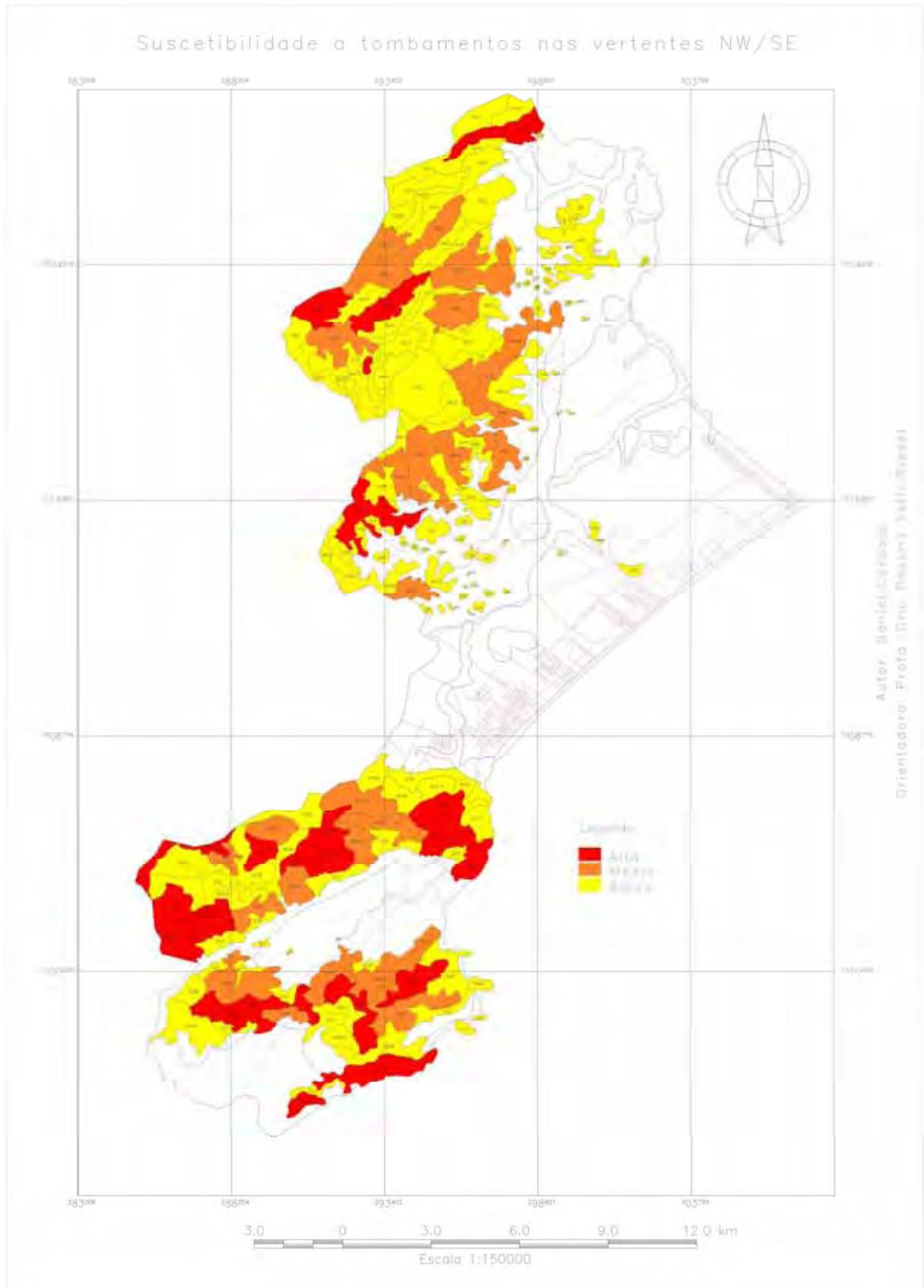
**Fig. 5.4** – Carta de exposição preferencial das vertentes por UBC.



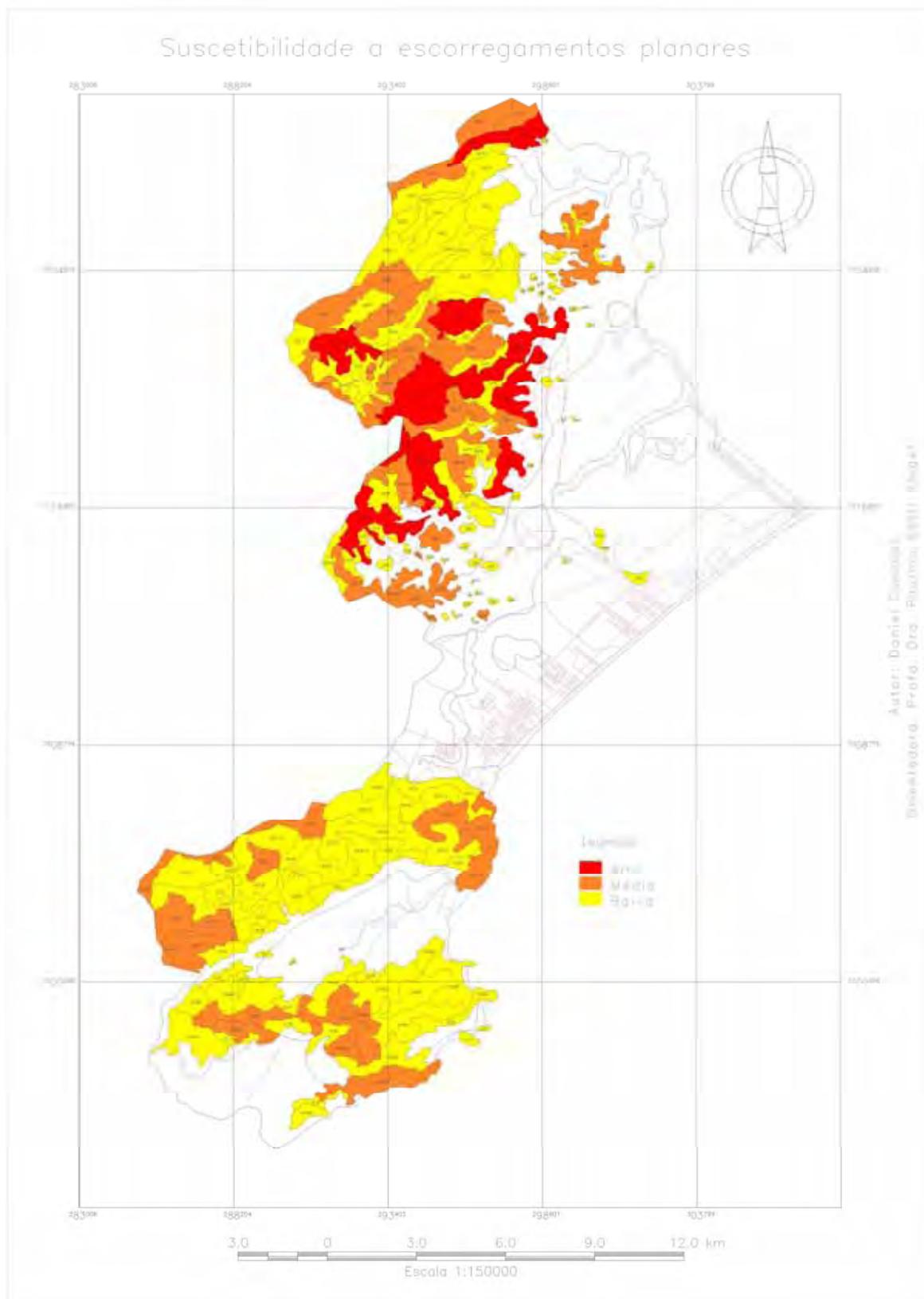
**Fig. 5.5.** – Mapa de direções de fraturas.



**Fig. 5.6** – Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NE / SW



**Fig. 5.7** – Carta de suscetibilidade a tombamentos nas vertentes NW / SE



**Fig. 5.8** – Carta de suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos

## 5.2. Discussão dos resultados

Embasado nas etapas metodológicas empregadas e estudadas neste trabalho e nos dados levantados em campo, uma síntese e apresentação dos dados será realizada a seguir, de maneira que seja estabelecido um procedimento sistemático de compartimentação fisiográfica por meio de análise de produtos de sensoriamento, e correlação das propriedades texturais e tonais com as características físicas da área.

Para a avaliação das propriedades do terreno e das características dos elementos componentes do terreno são utilizados métodos de levantamento de perfis de alteração característicos e específicos para cada UBC. Estes perfis têm como objetivo agrupar um conjunto de dados que traduzam de maneira expressiva as características geotécnicas de determinada área homogênea fotointerpretada. A esses perfis são adicionados dados relativos à observação direta do relevo local e suas relações de forma, amplitude, dinâmica superficial entre outras características, que conduzam a um melhor entendimento da natureza geotécnica de cada UBC.

Devido a problemas de acesso a áreas mais remotas ou à falta de perfis de alteração característicos para determinadas áreas, pode-se partir para uma análise das características geotécnicas a partir das propriedades da imagem, desde que uma correlação entre as propriedades ou características do terreno com a textura da imagem seja criada. Lembrando que estas inferências não apresentam relação direta com a avaliação potencial do comportamento geotécnico do terreno frente a intervenções antrópicas.

As inferências que podem ser extraídas a partir da análise das propriedades do terreno são geralmente relacionadas à permeabilidade, espessura do manto de alteração erodibilidade, tipo do material, escavabilidade, entre outras que considerarem significativas para o estudo. O levantamento de dados prévios através de consultas bibliográficas auxiliarão no inventário das características.

Dessa forma, a partir dos dados de campo constatados através dos perfis de alteração, algumas relações puderam ser elaboradas em diferentes níveis hierárquicos, e estas associações tornam-se úteis para o procedimento de inferências. Neste trabalho, a relação de destaque é entre o perfil característico da área com a textura da imagem.

Serão descritas algumas relações entre os perfis de alteração e a textura da imagem, como parte da apresentação dos dados e como exemplificação das características de cada unidade.

Ao sul da área no Complexo Itatins, dos quatro perfis observados, ocorre apenas um perfil de alteração completo com os três horizontes considerados, para a análise. Via de regra, ocorrem perfis de solos rasos, formados essencialmente pelo horizonte saprolítico da rocha, com estruturas quase sempre preservadas. Apenas nas regiões designadas como escarpadas ocorre o perfil completo (ponto 03) e é representada fisiograficamente por morros alongados com topo geralmente agudos. Nas áreas de relevo montanhoso, formado por morros altos, o solo é menos espesso e ocorre uma ausência de horizontes mais superficiais.

Outra característica deste maciço é a presença de paredões rochosos, em unidades formadas por formas de topo agudos, facilmente reconhecíveis na imagem através de um sombreado mais intenso. Nestas unidades, ocorre a ausência total de um material de superfície ou pequenas porções de solos litólicos. Este tipo de padrão pode ser observado nas unidades SKM1, SKM6, SKE1, SKE2, SKE3.

Neste mesmo Complexo, observou-se a maior quantidade de áreas com o grau alto em suscetibilidade a tombamentos. Essas unidades são: SKE1, SKE2, SKE3, SKE4, SKE5, SKE9, SKE10, SKM1, SKM6, SKM10, além de outras áreas de grau médio a suscetibilidade de tombamentos.

Outras áreas de grau alto de suscetibilidade a tombamentos fora do Complexo Itatins estão associadas às escarpas festonadas da Serra do Mar, representadas pelos xistos do Complexo Embu (SXE1 e SXE2) e no Granito Areado, também relacionadas às escarpas que estes formam, por meio de paredões rochoso (SAL1 e SAE1).

No que se diz respeito às relações na zona do Complexo Costeiro, relativas ao perfil de alteração com as características da imagem, oito pontos foram visitados e interessantes diferenças puderam ser observadas, que justificam determinadas divisões.

Nas unidades com morros alongados e convexos, os perfis das unidades SML2, SML3 e SML5 foram descritos. O fator mais evidente é a ausência de solo superficial. Estes perfis apenas apresentavam o solo residual e saprolito. A espessuras observadas ficaram em torno de até 4m.

Nas unidades morros convexos restritos, representadas pelos perfis das unidades SMC3, SMC8, SMC9, o manto de alteração apresenta um grau de alterabilidade maior com a presença de solo superficial e de solo residual e saprolito mais espesso que as outras unidades desta mesma zona. As espessuras máximas para todo material ultrapassaram 8 metros.

Outra unidade composta por rochas do Complexo Costeiro, mas que foram englobadas em outra província, são os morros isolados, que com sua declividade baixa e sua forma ampla, com um perfil de alteração mais espesso, ultrapassando os 15 metros em afloramento. O solo residual é mais espesso e o saprolito também. São representadas pela unidade LMI.

Para este Complexo, as zonas mais instáveis, estão relacionadas a um alto grau de suscetibilidade a escorregamentos planares rasos, estas zonas são representadas pelas seguintes unidades: SMC2, SMC4, SMC8, SML1, SML2, SML3, SML5 e SML9.

Na zona granítica, os perfis de alteração são menos espessos que o da zona gnáissica, mas o grau de alteração pode ser variado. Observou-se a quase ausência de material saprolítico, com transição da rocha quase que abrupta para o solo residual. Nos perfis desta área, é muito comum a presença de matacões e blocos de rocha sã, envoltos em todos os níveis do solo e inclusive na superfície do terreno.

Os corpos de materiais transportados, interpretados como colúvios já estabilizados, são descritos como uma unidade designada SCR. Nesta unidade é descrito o perfil do material transportado, independente do tipo de material que o forma, devido à falta de outros dados relativos a estes mesmos corpos em outras zonas. A superfície do terreno é composta por pequenos blocos decimétricos e matacões. O solo é argiloso, com grande quantidade de material fragmentado da rocha fonte.

Para as áreas de alta suscetibilidade devemos voltar nossa atenção, quanto ao seu uso e ocupação, pois são áreas que possuem características restritivas, seja para o uso urbano quanto para o uso industrial. No Complexo Itatins estas áreas estão associadas a paredões de alta declividade, com uma quebra negativa no final da forma, seguido de uma área mais plana. Estas áreas são áreas de acúmulo de material fornecido pela vertente na qual o processo está instalado, possuem assim um risco potencial para outro tipo de processo, o de corridas, por exemplo. Possuindo assim também restrições, quanto à ocupação.

Na unidade SKE3 e SK11, observou-se uma estação de tratamento de água da SABESP e a estrada que liga a área urbana do município com a Bairro de Guaraú, estas duas instalações estão no interior de duas áreas de alta suscetibilidade a tombamentos.

## 6. CONCLUSÕES

O procedimento de compartimentação do terreno a partir de unidades homogêneas mostra-se muito eficiente para a visualização, pois estas são de fácil elaboração, com a ajuda integrada de um mapa topográfico ou através de produtos de sensoriamento remoto. Os limites fotointerpretados, que correspondem aos limites das UBCs determinam unidades geotécnicas.

A interpretação nesta escala de trabalho permitiu uma identificação dos principais domínios regionais, tanto litológicos, quanto estruturais e geomorfológicos. A revisão bibliográfica permitiu a obtenção de mapas geológico, estrutural, geomorfológico e pedológico, que foram de grande utilidade na identificação destes setores.

Os limites fixos dos compartimentos estabelecem determinadas associações entre os elementos fisiográficos e essas associações, quando devidamente hierarquizadas, segundo critérios bem definidos, ordenam-se de maneira fácil, para quando houver necessidade de agrupamentos de unidades com características semelhantes para um fator de análise geotécnico, voltado pra às suas potencialidades ou fragilidades.

Os compartimentos tornam-se objetos concretos para obtenção de zoneamentos geotécnicos aplicados a estudos ambientais em escalas variadas e com objetivos diversos, já que cada unidade é composta por uma área física definida, definindo a mesma como unidade cartográfica e por propriedades e características intrínsecas, que fazem dela uma unidade geotécnica.

Com relação às áreas com ausência de texturas, os colúvios e áreas onde ocorre o predomínio de acumulação de material transportado, são facilmente identificáveis por estarem associados a áreas com topografia mais suave, com características de rampas, localizadas geralmente na base de áreas com relevo mais acidentado. Na imagem estas áreas apresentam uma textura mais lisa ou levemente rugosa.

Aplicada à análise ao município de Peruíbe pode-se observar que apesar de poucos casos de movimentos de massa, sejam eles de qualquer proporção ou natureza, os tombamentos estão associados aos paredões rochosos do maciço de Itatins, ou às escarpas íngremes da Zona de Cisalhamento do Complexo Embu. Os movimentos de massa do tipo

translacional raso ocorrem preferencialmente nas encostas do complexo migmatítico, em porções mais estruturadas, próxima aos vales das drenagens de ordem mais elevada.

Estes três tipos distintos de áreas devem receber um cuidado maior com o seu uso e ocupação, além de merecerem estudos mais detalhados.

A metodologia empregada neste trabalho apresenta facilidade de aplicabilidade por meio de equipes multidisciplinares. A execução do procedimento de compartimentação por meio de UBCs e sua consulta pode ser realizada por profissionais de diversas áreas, desde que como pré-requisito, conheçam conceitos básicos de interpretação de produtos de sensoriamento remoto e análise fisiográfica e geotécnica.

O método possui grande adaptabilidade, podendo ser aplicado a qualquer outra área de estudo, com a vantagem de um direcionamento ou aprofundamento dos critérios de avaliação geotécnicos para melhores adequações entre as correlações das propriedades do meio físico e os produtos de sensoriamento remoto.

Na utilização do método de análise dos dados por meio da árvore lógica de decisões deve ser observado com grande cautela, a seleção variáveis mais importantes no processo a ser modelado e sua priorização realizada por meio dos dados de campo e experiências pretéritas no assunto.

Estes produtos são de grande utilidade como subsídio para projetos voltados ao planejamento e gerenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, restrições a áreas de risco, implementação de obras de engenharia e estimativas de custos.

Os dados e os produtos gerados, pelo emprego da metodologia deste trabalho mostram-se bastante adequados para a elaboração de cartas geotécnicas. Como complementação a este estudo, sugere-se uma caracterização geotécnica mais pontual e um detalhamento das unidades críticas para os processos estudados, ou ainda, com a implementação de mais dados ao banco, a análise de outros tipos de movimentos de massa ou outros tipos de processos da dinâmica superficial (erosões, inundação, fragilidade a contaminantes, etc...).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. Inst. Geogr. E Geol.*, São Paulo, (41): 169-263 - 1964

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. O pré-cambriano do Brasil, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, p. 308-339 - 1984

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERENCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela (SP). São Paulo. Tese(Mestrado) – EPUSP. 168p.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente SIG como subsidio para planos de seguro em áreas urbanas: em ensaio em Caraguatatuba (SP). Rio Claro. Tese (Doutorado) – IGCE/UNESP - 2001

AZEVEDO SOBRINHO, J. M. Petrologia dos charnockítos da região de Itariri (SP) – Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências – Dissertação de Mestrado, São Paulo, 112p., 1995

BARROS, E. J. Carta de risco de movimentos gravitacionais de massa, zona norte dos morros de Santos, SP, com a utilização de sistemas de informações geográficas. Rio Claro. Tese (Mestrado). 149p. IGCE/UNESP – 2001.

BARROS SILVA, A. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos Campinas. Editora UNICAMP, 236 p., 1999

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press. Oxford: Clarendon, 1986. p 1-11.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C. B.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. Anatomia de sistemas de informação geográfica. Campinas: Escola de Computação, SBC, 1996

CARVALHO, C. S. Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na tomada de decisão. São Paulo. Tese (Doutorado), EPUSP, 1 v., 192p., 1996

CERRI, L. E. S. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes. Rio Claro. Tese IGCE-Unesp., 1 v., 197p., 1993.

COWEN, D. J. GIS versus Cad versus DBMS: What are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, v.54, n.11 p. 1551-1555, 1988

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. Landslides types and processes. In: TRB, Special Report 247, Nova Iorque, p. 36-75.

DANTAS, A. S. L.; GIMENEZ FILHO, A.; TEIXEIRA, A. L.; NAGATA, N.; FERNANDES, L. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; FRASCÁ, M. H. B. O. Geologia das folhas Juquiá (SG.23-V-A-I-4) e Miracatu (SG.23-V-A-II-3), Estado de São Paulo. IPT. São Paulo. Relatório N°25371 – 1987a

EASTMAN, J. R. IDRISI: user's guide. Massachussets: Clark University Graduated School of Geography, 178p., 1999.

GIANNINI, P. C. F. Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe – Itanhaém - Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências – Dissertação de Mestrado, São Paulo, vol. 1 , 116p., 1987

GOODCHILD, M. F. A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.1, n.4 pags. 327-334, 1987.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo, Edgard Blücher, 170p., 1984.

INFANTRI JR., N. & FORNASI FILHO, N. Cartas de Geologia de Engenharia. In: *GEOLOGIA DE ENGENHARIA*, eds SANTOS, A. M., & BRITO, S. N. A., São Paulo – ABGE, Cap. 9, p 131-152, 1998

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG –SMA/SP) Metodologia para a seleção de área para tratamento e disposição final de resíduos sólidos. Relatório Técnico, São Paulo, SP. Instituto Geológico, 1V., 1999

KORTH, H. F. E SILBERSCHATZ, A Sistema de banco de dados. São Paulo, McGraw Hill, 1994

NIMER, E. Climatologia da Região Sudeste do Brasil. Introdução a climatologia dinâmica – subsídios à geografia regional do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 34, n.1, 3-48p., jan/mar. 1972

PASSARELLI, C. R. Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo - Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências – Tese de Doutorado, São Paulo, 254p., 2001

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI C. A.; ALMEIDA F. F. M.; PRANDINI, F. L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT. São Paulo, vol. 1, 94p. 1981.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI C. A.; ALMEIDA F. F. M.; PRANDINI, F. L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT. São Paulo, vol. 2, 1981.

RAMALHO, R. Projeto planejamento minerário na ocupação do solo em área de atuação da SUDELPA – Anexo I Geomorfologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, vol 2, 59p., textos e mapas, 1982.

RIEDEL, P. S. Condicionantes estruturais na estabilidade de taludes: uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto. 1994., 235f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROMARIZ, D. A. Aspectos da vegetação do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 60p. 1974

SHEKAR, S. Spatial Databases: Accomplishments and research needs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, New York, v.11, n.1, 1999

SILVA, A. T. S. F.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K.; PINHO FILHO, W. D. Projeto Santos – Iguape – Relatório final geologia, Ministério das Minas e Energia, DNPM – CPRM, vol. 1, 1977

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias geomorfológicas, vol. 6, n.32, 71-104p., 1976

THEODOROVICZ, A. (coord) Projeto Curitiba. Informações básicas sobre o meio físico: subsídeos para o planejamento territorial: Folha Curitiba – 1:100000. Curitiba, CPRM, 109p., 1994

VARGAS, M. Estabilização de taludes em encostas de gnaisses decompostos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 30, 1966, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1966, v.1, p 1-44.

VARGAS, M. Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos da Serra do Mar. Solos e Rochas, São Paulo, v.22, n.1, p. 53-83, 1999.

VARNES, D. J. Slopes movement types and processes. In: LANDSLIDES analysis and control. Special report 176. Tran. Research Board. National Academy of Sciences. Washington, p. 11 – 33.

VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico – aplicação em expansão urbana. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 88 p., 1993

VEDOVELLO, R. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, IGCE, Rio Claro, 154p., 2000

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. INPE, 61p. (INPE – 2227 – MD041)., 1982

VERSTAPPEN, H. T. Remote sensing in geomorphology. Elsevier Science Publishers, 214 p., 1977

VIEGAS, W. Fundamentos de metodologia científica. Brasília: paralelo 15, Editora universidade de Brasília, 251p., 1999