

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE CARTAS
DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: ENSAIO DE APLICAÇÃO EM DUTOVIA NA SERRA
DO MAR – SP

JOÃO PAULO LIMA DE PAULA

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

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

Rio Claro (SP)
2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE CARTAS
DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: ENSAIO DE APLICAÇÃO EM DUTOVIA NA SERRA
DO MAR – SP

JOÃO PAULO LIMA DE PAULA

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

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

Rio Claro (SP)
2007

Comissão Examinadora

Aluno

Rio Claro, ____ de _____ de _____

Resultado _____

*“De tudo ficaram três coisas:
A certeza de que estamos sempre começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...
Portanto devemos:
Fazer da interrupção um caminho novo...
Da queda um passo de dança...
Do medo uma escada...
Do sonho uma ponte...
Da procura... um encontro”*

(Fernando Sabino)

Dedico à conclusão desta pesquisa à Marcela dos Santos, minha mulher, companheira, amiga, e a pessoa que mais se dedicou e quem mais incentivou o término deste trabalho. Muito obrigado por tudo que você fez e faz por mim, não somente neste trabalho, mas também na minha vida.

Eu te amo muito!!!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. PREMISSAS E HIPÓTESE DE TRABALHO	24
3. OBJETIVOS	25
4. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	26
5. BASE TEÓRICA	34
6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	61
7. PRODUTOS GERADOS	87
8. DISCUSSÕES	127
9. QUADRO-SÍNTESE	143
10. CONCLUSÕES	144
11. REFERÊNCIAS	147

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE QUADROS

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE SIGLAS

APÊNDICES

RESUMO

ABSTRACT

AGRADECIMENTOS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	21
2. PREMISSAS E HIPÓTESE DE TRABALHO	24
3. OBJETIVOS	25
4. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	26
5. BASE TEÓRICA	34
5.1 Hidrocarbonetos – Aspectos Gerais	34
5.1.1 Propriedades dos Compostos de Hidrocarbonetos	34
5.1.2 Formas de transporte do produto em meio poroso	36
5.1.2.1 Fase Líquida não-aquosa leve – LNAPL	37
5.1.3 Mecanismos de Transferência de Contaminantes	38
5.2 Cartas e Mapas de Sensibilidade Ambiental	39
5.3 Mapeamento do Risco Ambiental (Metodologia M.A.R.A.)	41
5.4 Definição e análise dos elementos do meio físico	42
5.4.1 Processos Geológicos e Comportamentos Geotécnicos	43
5.5 Condicionantes do meio físico – Aspectos gerais	47
5.5.1 Aspectos referentes aos Solos	48
5.5.1.1 Classificações dos Solos	48
5.5.1.1.1 Perfis de alteração	48
5.5.1.2 Propriedades Físicas dos Solos	50
5.5.1.2.1 Porosidade	50
5.5.1.2.2 Condutividade Hidráulica	51
5.5.1.2.3 Heterogeneidade do Solo	52
5.5.2 Aspectos referentes à Geologia	53
5.5.3 Aspectos referentes à hidrologia e hidrogeologia	54
5.5.3.1 O Ciclo Hidrológico	54
5.5.3.2 Águas subterrâneas - Distribuição Vertical das Águas Subterrâneas	56
5.5.3.2.1 Escoamento em meios fraturados	57
5.5.4 Aspectos referentes à Geomorfologia	58
6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	61
6.1 Aspectos Sócio-econômicos	61
6.2 Aspectos Bióticos	62
6.3 Aspectos do meio físico	63

6.3.1 Aspectos Climáticos	63
6.3.2 Hidrografia	64
6.3.3 Aspectos Geológicos	65
6.3.3.1 Contexto Regional	65
6.3.3.2 Aspectos geológicos dos sedimentos Cenozóicos	66
6.3.3.3 Estruturas Geológicas	70
6.3.3.3.1 Zona do Falhamento de Cubatão	71
6.3.3.4 Evolução Tectônica	72
6.4 Caracterização Geomorfológica	72
6.4.1 Planalto Atlântico	73
6.4.2 Província Costeira	73
6.4.2.1 Subdivisão da Província Costeira	74
6.4.2.1.1 Serra do Mar	74
6.4.3 Baixadas Litorâneas	75
6.4.4 Evolução Geomorfológica	78
6.5 Aspectos Geotécnicos	78
6.5.1 Descrição dos tipos de materiais	78
6.5.2 Processos geológicos que ocorrem na Serra do Mar e área de Planalto	80
6.5.2.1 Processos erosivos	80
6.5.2.2 Escorregamentos na Serra do Mar	83
6.5.3 Características geotécnicas dos sedimentos da Baixada Santista	85
6.5.4 Processos atuantes na Baixada Santista	85
7. PRODUTOS GERADOS	87
7.1 Mapa de Pontos	87
7.2 Mapa de Compartimentação do Relevo	87
7.2.1 Zona Planalto Paulistano - Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (PP-01)	87
7.2.2 Zona Serrania Costeira	88
7.2.2.1 Escarpas Festonadas com forte entalhe do relevo (SC-01)	90
7.2.2.2 Escarpas Festonadas (Bacia do rio Pilões SC-02)	90
7.2.2.3 Escarpas Festonadas com frente para Baixada Litorânea (SC-03)	91
7.2.2.4 Escarpa com espigões digitados – Vertente Direita do Rio Cubatão (SC-04)	92
7.2.2.5 Escarpa com espigões – Vertentes opostas a unidade	

SC-04 voltadas para Planície Litorânea (SC-05)	92
7.2.2.6 Escarpas com espigões digitados – Porção Nordeste da área (SC-06)	93
7.2.3. Baixada Litorânea (BL)	93
7.2.3.1 Baixada Litorânea – Planícies Costeiras (BL – 01)	93
7.2.3.2 Baixada Litorânea – Terraços Marinhos (BL-02)	94
7.2.3.3 Baixada Litorânea – Áreas de Mangues (BL-03)	95
7.2.3.4 Baixada Litorânea – Morros Isolados (BL-04)	96
7.2.3.5 Baixada Litorânea – Planícies Aluviais (BL-05)	96
7.3 Mapa Geológico-geotécnico	97
7.3.1 Unidades Geológico-geotécnicas no Planalto Paulistano	99
7.3.1.1 Migmatitos Homogêneos em Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (UGG-01)	100
7.3.1.2 Migmatitos de Paleossoma Xistoso em Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (UGG-02)	101
7.3.1.3 Planícies Aluviais em Área de Planalto (UGG-03)	103
7.3.2 Unidades Geológico-geotécnicas da Serrania Costeira	105
7.3.2.1 Migmatitos Homogêneos em Escarpas Festonadas e Escarpas com Espigões Digitados (UGG-04)	106
7.3.2.2 Migmatitos de Paleossoma Xistoso, Micaxisto e Filitos em Escarpas Festonadas e em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-05)	108
7.3.2.3 Granitos em Escarpa com Espigões Digitados (UGG-06)	110
7.3.2.4 Quartzitos em Escarpa com Espigões Digitados (UGG-07)	110
7.3.2.5 Cataclasitos em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-08)	112
7.3.2.6 Depósito de Tálus (UGG-09)	114
7.3.3 Unidades Geológico-geotécnicas nas Baixadas Litorâneas	115
7.3.3.1 Morros Isolados (UGG-10)	115
7.3.3.2 Terraços Marinhos Pleistocênicos (UGG-11)	116
7.3.3.3 Terraços Marinhos Holocênicos (UGG-12)	118
7.3.3.4 Planícies Aluvionares (UGG-13)	118
7.3.3.5 Manguezais (UGG-14)	119
7.3.3.6 Planícies Costeiras (UGG-15)	122
7.4 Unidade Especial: Corpos d'água	122
7.5 Delimitação da área de influência	123
8. DISCUSSÕES	127

8.1) Os Processos Geológicos e Comportamento Geotécnico: Avaliação para prevenção de acidentes	127
8.2) Características do meio físico que influenciam na migração do óleo	131
8.2.1 Escoamento Superficial	132
8.2.2 Escoamento subsuperficial	135
9. QUADRO-SÍNTESE	143
10. CONCLUSÕES	144
11. REFERÊNCIAS	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Fluxograma da pesquisa ilustrando as seqüências das etapas de trabalho	29
Figura 02: Diferentes fases presentes na zona não saturada sem contaminação (A) e zona saturada com a presença do contaminante (B)	36
Figura 03: Exemplo de perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões de serra	50
Figura 04: Distribuição de água no subsolo	57
Figura 05: Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e de processos superficiais operantes	59
Figura 06: Perfis de encostas típicos	60
Figura 07: Compartimentação tectônica regional	65
Figura 08: Mapa Geológico da área de estudo	69
Figura 09: Mapa Geomorfológico regional	77
Figura 10: Perfil típico esquemático de solos em encostas retilínea de um espigão da Serra do Mar	80
Figura 11: Vista do rio Pilões no qual se nota a grande quantidade de blocos de rocha e fragmentos de rocha em seu leito (Ponto 25)	91
Figura 12: Vista geral do relevo típico da unidade SC-03 das escarpas festonadas. Nota-se a presenças dos aquadutos da Henry Borden (mais próximos) e dos oleodutos da Petrobras (mais ao fundo) ambos instalados sobre o topo de espigão	91
Figura 13: Vista geral do costão rochoso da Ilha Porchat em São Vicente (Ponto 17).	94
Figura 14: Vista geral da Unidade BL-02, com relevo praticamente plano (Ponto 37).	95
Figura 15: Detalhe da planície aluvionar do rio Perequê (Ponto 04)	95
Figura 16: Vista geral das Planícies Costeiras de Santos e São Vicente	96
Figura 17: Perfil de alteração para as rochas migmatíticas (AcMg) do planalto	101
Figura 18 Vista de perfil de alteração com cobertura coluvionar. Nota-se que a árvore no centro da foto evidencia ocorrência de rastejo (Ponto 36)	102
Figura 19: Perfil de alteração para as rochas migmatíticas de paleossoma xistoso (PSeMc e PSeMn) encontrados no planalto	103
Figura 20: Perfil de alteração para os depósitos aluviais	104
Figura 21: Perfil de alteração para os migmatitos nas áreas da Serra do Mar	107
Figura 22: Detalhe dos migmatitos alterados encontrados ao longo do Caminho do Mar (Ponto 28)	107
Figura 23: Perfil de alteração para os micaxistos e filitos em áreas da Serra do Mar	109

Figura 24: Perfil de alteração para os granitos em áreas da Serra do Mar	111
Figura 25: Vista geral do perfil de alteração das rochas graníticas (Subida para Vôo Livre – Ponto 19)	111
Figura 26: Detalhe de rochas graníticas alteradas. (Ponto 19)	111
Figura 27: Perfil de alteração para os quartzitos em áreas da Serra do Mar	112
Figura 28: Perfil de alteração para os cataclasitos em áreas da Serra do Mar	113
Figura 29: Perfil de alteração para os depósitos de Tálus	114
Figura 30: Vista geral dos depósitos arenosos pleistocênicos com presença de dreno instalado ao lado da pista que liga São Vicente ao Bairro Continental. (Ponto 37)	116
Figura 31: Vista do depósito arenoso, esbranquiçado, com presença de crosta superficial limonítica (Ponto 37)	117
Figura 32: Perfil de alteração para os terraços marinhos arenosos	117
Figura 33: Vista da praia de Santos, com retrabalhamento dos sedimentos arenosos, finos causados pela ação das ondas (vista do ponto 17)	118
Figura 34: Perfil de alteração para areias marinhas recentes (praias)	119
Figura 35: Perfil de alteração dos depósitos aluviais	120
Figura 36: Vista geral da planície do rio Perequê encaixada sobre rochas cristalinas da Serra do Mar (Ponto 04)	121
Figura 37: Perfil de alteração de área de mangues	121
Figura 38: Vista geral da área de estudo onde ao fundo são encontrados os mangues do sistema estuarino de Santos (vista do ponto 28)	122
Figura 39: Vista parcial da estrada (rod. Anchieta – sentido capital) sobre mangue que foi desmatado e aterrado. As estacas amarelas marcam posicionamento dos oleodutos da Petrobrás	122
Figura 40: Vista, na ortofoto, da região onde são encontrados processos erosivos e exposição de solo	129
Figura 41: Detalhe de canal que foi aberto onde são encontradas pequenas erosões nas laterais deste canal ao lado da pista (ponto indicado pela seta – Ponto 37)	129
Figura 42: Vista da ortofoto de uma parte da Serra do Mar (vertentes de frente para a refinaria RPBC). No destaque feição indicativa de processos de escorregamento	130
Figura 43: Detalhe de escorregamento ocorrido no talude da estrada Caminho do Mar	130
Figura 44: Detalhe do depósito de blocos de rochas que são transportados pela água em chuvas mais fortes no fundo do vale	130
Figura 45: Detalhe do oleoduto instalado sobre o espigão da escarpa da Serra do Mar	132
Figura 46: Detalhe do duto sobre as escarpas da serra em direção a Baixada Litorânea,	

passando pelo bairro de Cubatão	133
Figura 47: Vista do duto instalado sobre o espigão da encosta da Serra do Mar	133
Figura 48: Detalhe do duto onde se observa que na faixa do duto não há vegetação, sendo o duto instalado sobre a superfície das rochas que estão cobertas por piche (material impermeabilizante)	133
Figura 49: Esquema do comportamento das fases dos hidrocarbonetos no solo e água subterrânea	136
Figura 50: Perfil de sondagem no terreno da Usina da Cosipa	137
Figura 51: Perfil de sondagem no terreno da fundação da Ponte do Casqueiro	137
Figura 52: Perfil de sondagem na Praia José Menino – Santos	138
Figura 53: Perfis de rugosidade	139

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 01: Acidentes ocorridos em dutos no Estado de São Paulo	21
Quadro 02: Principais objetivos e aplicações das Cartas Geotécnicas	28
Quadro 03: Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite	31
Quadro 04: Descrição das características dos hidrocarbonetos	35
Quadro 05: Quadro-síntese sobre erosão hídrica do solo	44
Quadro 06: Quadro-síntese sobre escorregamentos e processos correlatos	44
Quadro 07: Quadro-síntese sobre solo colapsível	45
Quadro 08: Quadro-síntese sobre solo agressivo	45
Quadro 09: Quadro-síntese sobre solo expansivo	45
Quadro 10: Quadro-síntese sobre subsidência e colapso de solo em áreas cársticas	46
Quadro 11: Quadro-síntese sobre solos com baixa capacidade de suporte	46
Quadro 12: Denominações e características dos horizontes em perfis de alteração	49
Quadro 13: Etapas da Evolução Tectônica	72
Quadro 14: Horizontes nas encosta abruptas da Serra do Mar, do ponto de vista da Geologia de Engenharia	79
Quadro 15: Classificação de escorregamentos e processos correlatos	81
Quadro 16: Correlação entre as Unidades delimitadas e a classificação descrita pelo IPT	88
Quadro 17: Correlação entre as unidades de relevo e as unidades Geológico-geotécnicas	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Classificação dos tipos de óleo	35
Tabela 02: Características físicas de Óleo cru	35
Tabela 03: Correlação entre os processos geológicos e comportamentos geotécnicos com as unidades geológico-geotécnicas	128
Tabela 04: Correlação entre a declividade e velocidade escoamento	133
Tabela 05: Faixa de valores condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados	136
Tabela 06: Espaçamento das descontinuidades	138
Tabela 07: Tipos de superfície e preenchimento de descontinuidades	139
Tabela 08: Correlação entre as classes de rugosidade e característica da parede	140
Tabela 09: Atitudes dominantes das juntas, obtidas na análise de 4 domínios distintos na área de estudos	141

ÍNDICE DE SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

Cartas SAO - Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DGA – Departamento de Geologia Aplicada

IG – Instituto Geológico

IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

N.A. – Nível d'água

OBATI – Oleoduto Barueri / Utinga

OPASA – Oleoduto Paulínia / São Paulo

OSBAT - Oleoduto São Sebastião/Cubatão

OSSP – Oleoduto Santos – São Paulo

OSVAT - Oleoduto São Sebastião/Vale do Paraíba

PRH – Programa de Recursos Humanos

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USP – Universidade de São Paulo

RPBC – Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão

REVAP – Refinaria do Vale do Paraíba

APÊNDICES

Apêndice 01: Mapa Geral da Área de Estudo

Apêndice 02: Modelo da Ficha de Campo

Apêndice 03: Mapa de Pontos

Apêndice 04: Mapa de Compartimentação do Relevo

Apêndice 05: Mapa Geológico-geotécnico

Apêndice 06: Mapa da área de Influência

Apêndice 07: Quadro-síntese

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COMO SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: ENSAIO DE APLICAÇÃO EM DUTOVIA NA SERRA DO MAR – SP

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido num trecho do oleoduto da Petrobras entre Cubatão (SP), na Baixada Litorânea, e o alto da serra do Mar. O objetivo principal foi levantar e analisar quais condicionantes do meio físico devem ser considerados para subsidiar a elaboração de uma Carta de Sensibilidade Ambiental, levando em conta as possíveis interferências tanto na ocorrência de acidentes com os dutos, quanto na migração do contaminante. O levantamento de dados secundários envolveu pesquisa bibliográfica, o que possibilitou a definição dos parâmetros e elementos do meio físico de interesse para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental e formas de migração do contaminante. Quanto aos dados primários, foram gerados os seguintes mapas, na escala 1:50.000: compartimentação do relevo, geológico-geotécnico, área de influência do duto e sensibilidade ambiental. A integração entre o mapa geológico-geotécnico e a carta de sensibilidade ambiental possibilitou a elaboração de um quadro-síntese, contendo discussões sobre os componentes do meio físico mais importantes para compor esses cartogramas. No mapa de compartimentação do relevo foram definidas 14 unidades, abrangendo áreas do Planalto Paulistano, da Serrania Costeira e da Baixada Litorânea. O mapa geológico-geotécnico, correspondente à junção de informações do mapa de compartimentação do relevo e do mapa geológico, possibilitou a definição de 23 unidades, assim distribuídas: três na área do Planalto Paulistano, 14 na Serrania Costeira e seis na Baixada Litorânea. No mapa da área de influência da dutovia, foi possível delimitar, espacialmente, as áreas direta e indiretamente afetadas, além das porções não afetadas pelos dutos. Os resultados da pesquisa permitem concluir pela importância da aplicação dos condicionantes do meio físico na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo em dutovias situadas em áreas interioranas.

Palavras-chave: meio físico, dutovias, Serra do Mar, mapa geológico-geotécnico, carta de sensibilidade ambiental.

CHARACTERIZATION OF THE PHYSICAL ENVIRONMENT AS SUBSIDY TO THE ELABORATION OF ENVIRONMENTAL SENSIBILITY MAPS: APPLICATION IN A PIPELINE IN THE SERRA DO MAR - SP

ABSTRACT

This work was developed in a sector of the pipeline of Petrobras from Cubatão (SP), in the Coastal Plain, to the high portion of the Serra do Mar. The main objective was to obtain and analyse which factors of the physical environment should be considered to subsidize the elaboration of a Environmental Sensibility Map, taking into account the possible interferences in the occurrence of accidents with the pipeline, as in the migration of the pollutant. The secondary data involved bibliographical research, which enabled the definition of the relevant parameters and elements of the physical environment for the elaboration of environmental sensibility maps and to analyse different ways of migration of the pollutant. Based on the primary data, the following maps were generated, on a scale of 1:50000: homogeneous units of relief, geological-geotechnical map, area of influence of the pipeline, and environmental sensibility map. The integration of the geological-geotechnical map and the environmental sensibility map enabled the elaboration of a synthesis table, containing discussions on the components of the most important physical environment, to compose those cartograms. In the map of compartments of the relief 14 units were defined, including areas of the Plateau of São Paulo, of the Coastal Ridge and of the Coastal Plain. The geological-geotechnical map, corresponding to the integration of the map of compartments and the geological map, enabled the definition of 23 units, distributed as follows: three in the area of the Plateau of São Paulo, fourteen in the Coastal Ridge and six in the Coastal Plain. In the map of the area of influence of the pipeline, it was possible to delimit areas direct and indirectly affected, besides the portions no affected for the pipelines. The results show the importance of the application of physical environment factors in the elaboration of environmental sensibility maps to oil spill in pipelines located in interior areas.

Word-key: physical environmental, pipe line, geological-geotechnical map, environmental sensibility map.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Eduardo Zaine pela orientação durante os dois anos de mestrado e sugestões apresentadas durante o trabalho.

Ao Prof. Leandro Eugenio da Silva Cerri pelas sugestões colocadas para a melhoramento da pesquisa.

À Agência Nacional do Petróleo, pelo fornecimento de bolsa de estudo, por meio do Programa de Recursos Humanos – PRH-05.

Prof. Dr. Dimas Dias-Brito pela confiança depositada na concessão da referida bolsa.

Ao José Maria Cazonato, secretário do PRH, que sempre colaborou na parte administrativa e burocrática do trabalho.

Aos professores Paulina Setti Riedel e José Alexandre de J. Perinotto pelas sugestões colocadas durante o exame de qualificação da presente pesquisa.

À todos os professores que passaram pela minha vida, que, bem ou mal, me ensinaram muitas coisas, que me trouxe até aqui para a realização deste trabalho.

Ao grupo de sensibilidade ambiental do PRH-05, nas pessoas de Miguel, Fábio e Ágatha com que tive momentos de discussão que enriqueceu o conteúdo do trabalho.

Ao Eymar pelas dicas por conceder mapas e imagens digitais além de sugestões colocadas principalmente nas partes de geoprocessamento.

1. INTRODUÇÃO

Destaca-se que, no quadro atual brasileiro, é observada a crescente instalação de dutovias, em especial oleodutos e gasodutos. Tal fato se deve ao grande desenvolvimento urbano e industrial que exige, dentre outros aspectos, uma adequada infra-estrutura básica, com destaque para fontes de energia. As dutovias estão sujeitas à ocorrência de vazamentos, seja por ação de terceiros ou por corrosão da tubulação, por exemplo.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2004) cita que, mesmo construídas e operadas dentro dos padrões máximos de segurança internacional, as faixas dos dutos estão sujeitas a danos causados pela erosão, deslizamentos de terra, corrosão, queda de rochas, atos de vandalismo, ação de terceiros, os quais podem ocasionar os vazamentos. A seguir, são destacados dois acidentes ocorridos em dutos do Estado de São Paulo (Quadro 01).

Quadro 01: Acidentes ocorridos em dutos no Estado de São Paulo (CETESB, 2004).

Operação Vila Socó				
Data	Local	Produto	Volume	Causa
25/02/1984	Cubatão	Gasolina	1.200 m ³	Corrosão
Síntese				
Uma das linhas que interliga a Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, ao Porto de Alemoa, em Santos, se rompeu devido a corrosão associada à falha operacional, gerando vazamento de gasolina. Esta tubulação se encontrava em região alagadiça de manguezal, onde estavam assentadas várias famílias em construções do tipo palafitas. A liberação de um produto inflamável se espalhou com a movimentação das marés e houve ignição seguida de incêndio de grandes proporções, causando a morte de 38 pessoas e 53 vítimas além de cerca de quinhentos desabrigados, pânico na comunidade da própria cidade, nas cidades vizinhas, interdição da Rodovia Anchieta, situada paralelamente à linha do duto e contaminação de extensa área de manguezal.				
Operação 035/00 – Serra do Mar				
Data	Local	Produto	Volume	Causa
28/02/2000	Cubatão	Óleo combustível	500 litros	Corrosão
Síntese				
O oleoduto do Sistema Oleoduto Santos-São Paulo (OSSP), da PETROBRAS, localizado nas encostas da Serra do Mar, próximo à Via Anchieta, procedente da Refinaria Presidente Bernardes em Cubatão, sentido ao planalto, rompeu em função de um pequeno ponto de corrosão. Devido à forte pressão com que o produto era bombeado, o jato de óleo atingiu área significativa de vegetação da Mata Atlântica e todos os esforços de combate foram dimensionados no intuito de conter rapidamente o vazamento, evitando que mais áreas fossem atingidas, trabalho este muito dificultado pela grande inclinação do terreno.				

Esses dois exemplos apresentam informações sobre como o ambiente foi afetado com o vazamento de hidrocarbonetos. Nota-se que em ambos os casos, a principal causa de vazamento se deu por corrosão na tubulação. No primeiro caso, o duto estava instalado em regiões de mangue. No segundo exemplo, os dutos implantados nas encostas da Serra do Mar estavam sujeitos aos processos de intemperismo (ação de chuvas, vento, etc.).

Araújo et al. (2004) citam que os vazamentos de óleo são eventos que afetam uma série de atividades e usos, muitas vezes conflitantes e significativos para a tomada de decisões sobre prioridades de proteção (por exemplo, áreas de cultivo de peixes).

Os danos causados pelos vazamentos de hidrocarbonetos podem ser potencializados ou reduzidos dependendo das características e condicionantes do meio físico encontrados no local (aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, pedológicos, etc).

Há um conceito utilizado em trabalhos de Geologia de Engenharia denominado “Conceito da Imanência das Características Físicas” que corresponde à seguinte afirmativa: *“materiais com características intrínsecas diferentes responderão diferenciadamente a solicitações semelhantes”* (SANTOS, 1994).

Observando o conceito descrito, pode-se considerar que o mesmo vazamento de óleo ocorrido em diferentes substratos geológicos e/ou diferentes unidades de perfil de alteração vai responder de forma diferente nos diversos ambientes geológicos. Ou seja, a resposta do meio físico ao mesmo tipo de solicitação (vazamento e migração do óleo) vai ser distinta para cada tipo litológico, forma de encosta, perfil, composição do solo etc.

Para a prevenção, avaliação e remediação desses impactos, um instrumento utilizado (mais em áreas costeiras e marinhas) para a representação das características de sensibilidade ambiental pode ser genericamente denominado de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Cartas SAO) ou Mapas de Sensibilidade Ambiental.

As Cartas SAO constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de preservação, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza (BRASIL, 2002).

Nota-se que as Cartas SAO envolvem muitas áreas de conhecimento. Um dos aspectos importantes, entre outros, retratados nessas cartas são as características do meio físico e seus processos atuantes.

Para áreas interiores ou continentais é apresentado Mapeamento do Risco Ambiental (MARA) elaborado por pesquisadores da CETESB e Petrobras e descrito por Mendes et al., (2005). Nesse documento é apresentada uma metodologia macro para reconhecimento das áreas que podem ser impactadas por vazamentos em oleodutos, permitindo suporte ao planejamento da emergência. Seu escopo e metodologia de elaboração justificam a adoção de

mapas ambientais dentro do contexto dos Estudos de Análise de Risco - EAR, nos empreendimentos dutoviários.

Com base nas informações apresentadas anteriormente foi estabelecida como área de estudo parte dos municípios da Baixada Santista, especialmente Cubatão, Santos, São Vicente e São Bernardo do Campo (Apêndice 01). Nesta área encontra-se o oleoduto da Petrobras denominado Oleoduto Santos-São Paulo (OSSP).

O Oleoduto OSSP é formado por um conjunto de redes de oleodutos, estações de bombeamento e aquecimento, e interliga as refinarias Presidente Bernardes (RPBC) e Capuava (RECAP), os terminais das Docas de Santos, o Terminal de Utinga, as companhias distribuidoras e o Sistema Oleoduto Paulínia/São Paulo e Oleoduto Barueri/Utinga (OPASA-OBATI). Caracteriza-se por grande flexibilidade de operações, que possibilita a movimentação dos produtos em vários sentidos e a entrega em diversos pontos (NEIVA, 1986).

O traçado é caracterizado, inicialmente, por terreno pantanoso, entre Santos e Cubatão. Desse ponto, o seu perfil se eleva cerca de 750 m acima do nível do mar em uma distância horizontal de pouco mais de um quilômetro e meio. Após vencer a Serra do Mar, sucedem-se colinas, lagos e canais, até penetrar na zona densamente povoada dos municípios de São Bernardo do Campo, Santo André, São Caetano, atingindo, após, os subúrbios de São Paulo - Ipiranga e Moóca. No trecho da baixada, entre Santos e Cubatão, a região apresenta o aspecto típico de um estuário com rios tortuosos, braços de mar e espraamentos. Na maior parte deste local, a tubulação foi lançada sobre aterros previamente preparados.

Nota-se que os dutos atravessam distintos ambientes e que foram necessárias diferentes obras para sua implantação. Isso sugere que se devem considerar as diferentes características do meio físico, tanto para fase de implantação quanto para as fases de operação e/ou manutenção.

A área de estudo apresenta uma grande diversidade de condicionantes do meio físico (aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e geotécnicos) e que, para fins de pesquisa, representam grande contribuição para o exercício do conhecimento dos distintos ambientes e seus processos aplicados a um caso específico (Cartas de Sensibilidade Ambiental).

O Oleoduto Santos - São Paulo é, portanto, um sistema complexo de linhas, estações e parques de tanques, que alimenta a zona geo-econômica compreendida pelo Estado de São Paulo, norte do Paraná, Minas Gerais e o centro-oeste brasileiro.

2. PREMISSAS E HIPÓTESES DE TRABALHO

Primeiramente destaca-se que o problema chave da presente pesquisa está em apresentar quais os elementos do meio físico podem ser incorporados nas cartas de sensibilidade ambiental para os diversos tipos de ambiente (continental e costeiro). Assim, para que a pesquisa pudesse ser desenvolvida foram estabelecidas as seguintes premissas:

- Materiais diferentes vão responder diferenciadamente à mesma solicitação (que no caso corresponde ao vazamento de óleo no meio);
- Dutos são fontes potenciais de contaminação do solo e água por estarem inseridos no ambiente e estarem suscetíveis à ação de processos geológicos atuantes (erosão, escorregamentos etc.) e comportamentos geotécnicos que podem danificar a tubulação;
- Os dutos atravessam diferentes tipos de solos e rochas, além de diversos ambientes e contextos socioeconômicos;
- Os mapas de sensibilidade ambiental mostram-se importantes para fins de planejamento ambiental, prevenção contra vazamento de hidrocarbonetos em áreas consideradas prioritárias e para o estabelecimento de planos de contingência.

Considerando as premissas, anteriormente descritas, chegou-se à formulação das seguintes hipóteses de trabalho:

- A caracterização do meio físico pode ser utilizada para levantamento de informações básicas para auxiliar na elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental e como instrumento preventivo de acidentes derivados dos processos e comportamentos do meio físico;
- A definição de setores descritos como Comportamento Homogêneo a partir da caracterização do meio físico pode compor um mapa incorporando informações a serem utilizadas em cartas de sensibilidade ambiental elaboradas para os diversos ambientes (continental e/ou costeiros);
- A representação cartográfica das características do meio físico pode ser fonte de informação básica para elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para as áreas continentais e permite uma visualização de áreas mais vulneráveis e sensíveis ao vazamento e contaminação pelo óleo, dos processos e comportamentos associados que podem gerar acidentes nos dutos, entre outros.

3. OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa pode ser assim resumido:

- Analisar e apresentar quais condicionantes do meio físico devem ser considerados para subsidiar a elaboração de uma Carta de Sensibilidade Ambiental para derramamento de óleo que interferem tanto na ocorrência de acidentes com os dutos quanto na migração do contaminante.

Têm-se também como objetivos secundários:

- Caracterizar o meio físico na região de Cubatão já que ali são encontrados diversos elementos distintos que compõem o meio físico que permitem uma avaliação. Também conta com um exemplo de duto instalado naquele ambiente e está sujeito a ocorrência de vazamentos com óleo;

- Definir e cartografar unidades de análise do meio físico com base na compartimentação de relevo;

- Definir critérios e delimitar as áreas de influências do impacto ambiental decorrente de possíveis vazamentos;

- Avaliar o comportamento do óleo nas diferentes unidades de análise do meio físico;

- Contribuir para aprimoramento dos métodos de elaboração das cartas de sensibilidade por meio da incorporação das informações do meio físico que melhor se aplicam a estes documentos cartográficos.

4. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO

Quanto ao aspecto metodológico específico para elaboração de mapa que represente as características do meio físico, os processos geológicos atuantes bem como seus comportamentos geotécnicos em um único produto cartográfico, destacam-se os procedimentos descritos por Ross (1995), Lollo (1996) e Vedovello (2000).

Ross (1995) descreve que “Land Systems” têm como característica a geração de produtos temáticos analítico-sintéticos, quer seja gerado por geoprocessamento através da interpretação automática ou executado a partir de interpretação visual. Toma como referencial, padrões de fisionomia do terreno, ou padrões de paisagem ou Unidades de Paisagem que individualizadas e cartografadas, são o referencial básico para o início das pesquisas. Nesse processo, a vantagem está em gerar um único produto cartográfico seccionado em várias “unidades de paisagem” que resumem as características do relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e sócio-economia.

Lollo (1996) apresenta o método denominado de Avaliação do Terreno (*terrain evaluation*), que permite dividir uma área em unidades cada vez menores, por meio de fotointerpretação, baseando-se, exclusivamente, nas uniformidades das feições de relevo. A mesma fundamenta-se no “reconhecimento, interpretação e análise de feições de relevo (*landforms*), as quais, sendo reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos”.

O termo *landform* é definido por Lollo (1996) como sendo uma “porção do terreno originada de processos naturais e distinguíveis das porções vizinhas em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo”. Este pode ser usado em três níveis hierárquicos diferentes: sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*).

Os resultados dessa técnica de avaliação do terreno são representados em mapas, sob a forma de zoneamento em termos dos *landforms* existentes na área de estudo e dos materiais (como rochas e perfis de alteração de materiais inconsolidados) associados a esses *landforms* (LOLLO e ZUQUETTE, 1996).

Vedovello (2000) descreve os procedimentos adotados para o Zoneamento Geotécnico realizado por meio de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), que pode ser realizado em três etapas:

- **Compartimentação Fisiográfica do Terreno:** consiste em dividir uma determinada área em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características dos elementos

componentes do meio físico e que, portanto, impliquem em um determinado comportamento geotécnico frente às ações e atividades antrópicas.

- **Caracterização Geotécnica:** consiste em determinar, para cada unidade obtida na etapa anterior, propriedades e características dos materiais (solos, rochas, sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico, que sejam determinantes das condições geológico-geotécnicas relevantes para a aplicação pretendida.

- **Cartografia Temática Final:** refere-se à classificação das unidades de compartimentação quanto a fragilidades ou potencialidades do terreno. Essa classificação é feita com base na análise das propriedades e/ou características do meio físico obtidas na etapa de caracterização geotécnica e determinada por critérios ou regras de classificação estabelecidas para cada unidade pretendida.

Uma compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas (VEDOVELLO, 2000).

Os três métodos ressaltam a importância da caracterização do meio físico onde, em uma ação combinada destas características, definem-se as unidades. Porém, são ressaltadas as características fisiográficas do terreno, que podem ser compartimentadas em unidades cada vez mais detalhadas. Esses métodos também revelam a importância de se integrar às diversas informações e características do meio físico apresenta e se comporta e que podem ser aplicadas em várias frentes, seja no planejamento urbano e ambiental, obras de engenharia, proteção do ambiente, etc.

No campo da Geologia de Engenharia, os instrumentos utilizados usualmente para a representação das características do meio físico podem ser genericamente denominados de Cartas Geológico-Geotécnicas, Cartas de Geologia de Engenharia, Cartas Geotécnicas, Mapas Geotécnicos e exprimem os comportamentos dos terrenos frente a uma solicitação.

Zuquette e Nakazawa (1998) citam os conceitos clássicos de Mapas ou Cartas Geotécnicas propostos por Varnes (1974) e IAEG (1976), respectivamente:

- “Um mapa geotécnico requer, para sua realização, operações físicas de adição, seleção, generalização e transformações de informações especializadas, relativas a litologia, a estrutura dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos”.

• “O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”.

Para Zuquette e Nakazawa (1998) “as cartas geotécnicas, como expressão prática do conhecimento geológico, aplicado ao gerenciamento dos problemas colocados pelos os diferentes tipos dos usos do solo, tem como objetivos prever o desempenho da interação entre o meio físico e a sua ocupação, bem como os conflitos entre as diversas formas de usos de solo e estabelecer orientações técnicas, preventivas e corretivas, dos problemas identificados, para minimizar custos e riscos nos empreendimentos do uso do solo”. Cerri (1990) descreve os objetivos e aplicações das cartas e/ou mapas geotécnicos (Quadro 02).

Quadro 02: Principais objetivos e aplicações das Cartas Geotécnicas (CERRI, 1990).

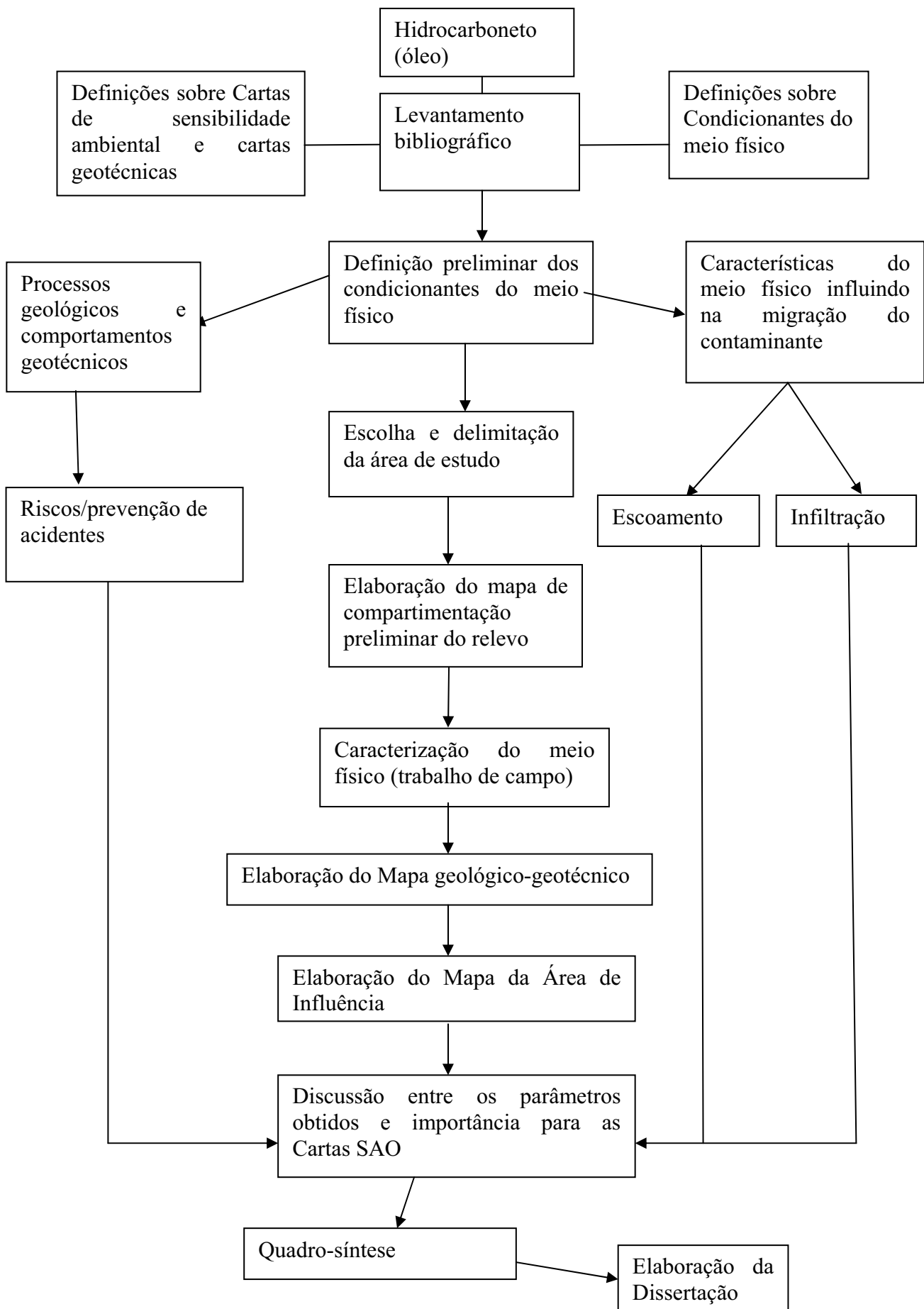
OBJETIVOS	APLICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none">- melhor utilização do espaço físico disponível;- conservação ambiental e a proteção dos recursos naturais;- estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e para a recuperação de áreas degradadas por ocupação desordenada;- segurança das edificações e da população através da previsão e prevenção de riscos geológicos (naturais ou induzidos);- otimização da aplicação de recursos públicos e privados; e- orientação (e não substituição) de estudos e ensaios específicos para projetos de engenharia.	<ul style="list-style-type: none">- como subsídios à elaboração de projetos voltados ao planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo em todos os níveis (Plano Diretor, zoneamento, parcelamento e desmembramento), inclusive na própria elaboração de dispositivos legais inertes ao uso do solo;- como subsídios a estudos de impacto ambiental;- na restrição à ocupação de áreas sob riscos geológicos;- na definição de locais mais adequados, dos cuidados e estudos específicos para implantação de obras de engenharia;- na melhor estimativa dos custos de implantação dos empreendimentos; e- no estabelecimento de critérios técnicos para eficientes sistemas de manutenção das obras de engenharia.

Mais detalhes sobre os tipos de cartas geotécnicas, metodologias utilizadas para a elaboração e aplicações da cartografia pode ser encontrado nos trabalhos como os de Aguiar (1994), Freitas (2000) e Zaine (2000).

O presente cartograma foi denominado Mapa Geológico-geotécnico elaborado a partir de informações coletadas em bibliografia, mapas, fotos aéreas e trabalhos de campo e o mesmo reflete as características e informações de relevante interesse para elaboração das Cartas SAO tanto para as áreas continentais como para as áreas costeiras.

Como considerações sobre a ordem de execução da pesquisa são colocados aspectos referentes às etapas de trabalho bem como os procedimentos adotados para a realização de cada etapa (Figura 01).

Figura 01: Fluxograma da pesquisa ilustrando as seqüências das etapas de trabalho.



A presente investigação foi dividida nas seguintes etapas de trabalho:

1ª Etapa - Pesquisa bibliográfica: consistiu na busca e consulta de publicação (livros, teses, dissertações, artigos), referentes aos seguintes temas principais:

- Hidrocarbonetos, especialmente óleo, com informações referentes à características, propriedades e comportamentos do óleo no ambiente;
- Cartas de Sensibilidade Ambiental com objetivo de encontrar as definições, objetivos, critérios para elaboração dessas cartas.
- Parâmetros do meio físico: processos geológicos e comportamentos geotécnicos; e
- Características do meio físico da área de estudo.

As publicações sobre esses temas principais foram adquiridas, principalmente, na biblioteca da Unesp de Rio Claro. Também se utilizou “sites” de algumas instituições para busca de artigos, livros teses etc nas bibliotecas virtuais (USP, CETESB, IG, IPT, ANP e PETROBRAS), além de visitas às Bibliotecas da USP e do IPT.

2ª - Etapa - Definição e análise dos componentes do meio físico: a pesquisa bibliográfica permitiu considerar e levantar condicionantes do meio físico a serem utilizados em cartas de sensibilidade ambiental. Foram consideradas duas situações:

1ª) Prevenção de acidentes dos dutos oriundos da ocorrência de processos geológicos e comportamentos geotécnicos com efeitos adversos para os dutos;

2ª) Características do meio físico que podem potencializar e/ou limitar a migração do óleo. Para este caso foram consideradas duas situações:

- O óleo poderá migrar sobre a superfície do terreno; e/ou
- Infiltrar e migrar pelo subsolo do terreno.

Os condicionantes do meio físico, bem como os processos geológicos e comportamentos geotécnicos encontrados, foram estabelecidos de acordo com a combinação de informações obtidas nas referências bibliográficas bem como nos mapas e nos trabalhos de campo realizados na área de estudo.

3ª Etapa - Delimitação da área de estudo: A definição da área de estudo seguiu os seguintes critérios:

- Área na qual são encontrados dutos (prováveis fontes poluidoras);
- Área que englobasse os distintos ambientes, diferentes formas de relevo e litologias;
- Disponibilidade de fotografias aéreas, mapas temáticos e artigos referentes à Serra do Mar e região (Planalto Atlântico e Província Costeira).

- Acesso a informações e à área de estudo propriamente dita.

4ª Etapa - Elaboração de mapa de compartimentação do relevo: para a elaboração do presente mapa foram utilizadas fotografias aéreas da BASE/S.A (1994) da Baixada Santista, que corresponde às Faixas 15, 16, 17 e 18, na escala de 1:25.000.

Também foram utilizadas ortofotos digitais, que podem alcançar a escala de 1:8.000, para análise e observação do meio físico da área, cedidas pelo Instituto Florestal ao Grupo de Sensibilidade Ambiental (PRH-05). As ortofotos foram inseridas no programa *Auto Cad Map 2004* para edições e confecção dos mapas.

Esta foto-interpretação gerou um produto cujas informações e detalhes serão apresentados nos capítulos posteriores.

O mapa foi elaborado com base nas propriedades texturais encontradas nas imagens que permitiram a delimitação das respectivas unidades. O Quadro 03 apresenta algumas das características utilizadas.

Quadro 03: Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite (VEDOVELLO, 2000).

Propriedade Textural	Caracterização
Tipo de elemento de textura	Define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.
Densidade de textura	Refere-se a quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área de 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 de imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dentrítico ou anelar, etc.
Grau de estruturação	Refere-se 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 a complexidade de organização dos elementos texturais. Assim sua classificação é dada em função da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorre apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrem dois tipos superimpostos) e assim por diante.

Para as unidades de relevo definidas no mapa, foram adotados os seguintes critérios de divisão:

- Foram obedecidas as divisões hierárquicas de relevo estabelecidas pelo IPT (1981a), que vai desde província até tipos de relevos;

- As Unidades foram divididas segundo as características texturais das imagens, Amplitude local, declividade, padrão e densidade de drenagem, topos e suas formas, perfil das vertentes e vales.

5ª Etapa - Caracterização do meio físico: consiste em descrever as informações encontradas nas bibliografias, fotos aéreas e principalmente no trabalho de campo realizado na área.

Para o trabalho de campo foram utilizadas fotos aéreas, ortofotos digitais, plantas topográficas na escala de 1:10.000, da AGEM – Agência Metropolitana da Baixada Santista, de 2002 e do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1988). Também utilizou-se bases topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000, folhas Santos e Riacho Grande.

O levantamento de campo, além dos mapas e fotos já citados, contou com GPS, máquina fotográfica. Também foram utilizadas fichas de campo elaboradas especificamente para este trabalho (Apêndice 02).

6ª Etapa - Elaboração de Mapa Geológico-geotécnico: foi elaborado utilizando-se os cartogramas, tais como, o Mapa de Unidade de Compartimentação do Relevo, Geológico e informações do meio físico encontradas na bibliografia e em trabalhos de campo.

Com critérios para a elaboração das unidades do mapa (denominadas de Unidades do Meio Físico) podem ser citados os seguintes aspectos:

- Combinação dos fatores entre os elementos de geomorfologia quanto ao tipo de litologia encontrada, já que está sendo considerado o Conceito de Imanência dos Materiais;

- Esta combinação permite identificar também distintos perfis de solos na região, o que acaba sendo caracterizada como diferentes unidades do meio físico;

- Cada forma de relevo encontrada terá um comportamento quanto à migração; cada litologia e estrutura geológica associadas geram um tipo de resposta; a alteração dos distintos tipos de rocha em diferentes posições topográficas forma distintos perfis de solo. A combinação destas informações gera diferentes unidades de meio físico, cada qual com um comportamento específico;

- Os processos geológicos e comportamentos geotécnicos também foram incorporados nas informações das unidades, já que apresentam informações que auxiliam na previsão de possíveis problemas, na elaboração de medidas para diminuição de acidentes e no controle mais eficaz e rápido de possíveis vazamentos.

7ª Etapa - Delimitação da Área de Influência: quanto à delimitação da área de influência foram estabelecidos os seguintes critérios:

- Foram admitidos três tipos de áreas assim classificadas: área de influência direta, indireta, e área não influenciada. Os limites foram estabelecidos com base no traçado do duto (OSSP), possível fonte de contaminação por eventuais acidentes;
- As características e os processos do meio físico da área, levando em conta a posição do oleoduto na bacia hidrográfica;
- Também são colocados, seguindo a metodologia descrita por Mendes et al. (2005), os chamados Pontos Notáveis;
- Projeção de áreas que poderiam ser atingidas por um vazamento de óleo.

8ª Etapa - Correlação entre o Mapa Geológico-geotécnico e Cartas de Sensibilidade Ambiental: esta etapa consistiu em discussões sobre, de fato, quais os elementos do meio físico são importantes para as Cartas SAO e que podem ser incorporados de forma a auxiliar na definição dos índices de sensibilidade e na execução de planos de contingência e planejamento ambiental.

Foram feitas comparações entre os elementos estabelecidos em bibliografia para as Cartas SAO e os elementos encontrados.

9ª Etapa - Elaboração do Quadro-síntese: Este quadro-síntese contém as informações do meio físico do Mapa Geológico-geotécnico. Foi apresentado para auxiliar no entendimento dos produtos gerados e apresenta informações resumidas sobre as características do meio físico, bem como os processos geológicos e comportamentos geotécnicos encontrados para cada unidade.

10ª Etapa - Elaboração da Dissertação: Elaboração do texto com os resultados obtidos, com estruturação textual seguindo as normas estabelecidas.

5. BASE TEÓRICA

Este capítulo apresenta os temas principais que nortearam a investigação e são descritos segundo a seguinte ordem:

- Óleo e suas características e comportamentos no meio físico;
- Aspectos conceituais referentes às Cartas de Sensibilidade Ambiental (conceitos, objetivos, aplicações, formas de elaboração e principais informações contidas);
- Aspectos referentes aos condicionantes geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos e pedológicos, que podem potencializar ou limitar uma contaminação por vazamento de óleo; os processos geológicos e comportamentos geotécnicos que podem gerar riscos de rompimento de uma dutovia.

5.1 Hidrocarbonetos – Aspectos Gerais

Os hidrocarbonetos são substâncias que, em contato com o ambiente, podem provocar significativas alterações. E estas substâncias são transportadas principalmente pelas dutovias, que vem ganhando cada vez mais importância no cenário brasileiro em transporte de hidrocarbonetos sejam óleo, gás ou derivados.

O petróleo bruto é uma mistura complexa de compostos orgânicos, na maior parte alcanos e hidrocarbonetos aromáticos, com pequenas quantidades de compostos como oxigênio, nitrogênio e enxofre. Em geral todas as formas do petróleo são compostas quase que completamente por átomos de carbono e de hidrogênio, com menores proporções de nitrogênio e oxigênio (SOLOMONS, 1996, apud FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).

5.1.1 Propriedades dos Compostos de Hidrocarbonetos

Segundo Ferreira e Zuquette (1998), o comportamento dos produtos individuais e das misturas no ambiente é influenciado, em grande parte, por suas propriedades físico-químicas, as quais governam a partição, o tipo de transporte e o fluxo desses contaminantes. As características dos hidrocarbonetos podem ser encontradas no Quadro 04.

Para a presente pesquisa considerou-se o óleo como fonte de possível contaminação, já que este é transportado pelo duto (OSSP), pois, dentro dos hidrocarbonetos há uma grande variedade de produtos, com características, propriedades e comportamentos distintos uns dos outros.

Quadro 04: Descrição das características dos hidrocarbonetos.

Características	Descrição
Densidade	Segundo Guiguer (2000, apud MANCINI, 2002), a densidade de um fluido é definida como a massa por unidade de volume. A principal razão de se conhecer a densidade de uma substância é determinar se esta flutuará sobre a água (densidade < 1,0 mg/l) ou se mesclará com a água (densidade > 1,0 mg/l).
Coefficiente de Difusão:	Os compostos orgânicos presentes no solo e água subterrânea apresentam mobilidade segundo um gradiente de concentração que é dirigido do meio mais concentrado para o de menor concentração (SILVA, 2001 apud MANCINI, 2002).
Coefficiente de Partição Octanol – Água	Quantifica a tendência de uma substância orgânica ser dissolvida em água ou em solventes orgânicos (quanto maior o coeficiente, maior é a tendência do contaminante ser dissolvido em líquidos orgânicos do que em água (FETTER, 1993, apud FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).
Ponto de Ebulição	Este parâmetro dá a indicação da medida de volatilidade de um fluido, assim, líquidos que apresentem baixo ponto de ebulição (<100°C) e alto ponto de ebulição (>100°C) (SILVA, 2001, apud MANCINI, 2002).
Pressão de Vapor	Estima a tendência de um composto, presente na fase adsorvida ou na fase aquosa, sofrer volatilização e partição para a fase gasosa. Quanto maior a pressão de vapor, mais volátil é a substância (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).
Ponto de Ignição:	Temperatura em que os vapores de um produto irão ignizar quando em contato com uma fonte de ignição (CETESB, 2006).
Solubilidade	Controla a qualidade de soluto que pode sofrer partição na fase aquosa e, assim, ser transportada em solução. (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).
Tensão Interfacial	Energia resultante da diferença no grau de atração entre as moléculas de uma substância e a superfície do líquido comparado com o grau de atração com as moléculas de outra substância e a superfície deste mesmo líquido (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).
Viscosidade Dinâmica	Viscosidade dinâmica é a medida da resistência de um fluido para escoar (GUIGUER, 2000, apud MANCINI, 2002).

Sendo assim, as Tabelas 01 e 02 apresentam, respectivamente, a classificação dos tipos de óleo existentes e as características físicas do óleo cru (CETESB, 2006).

Tabela 01: Classificação dos tipos de óleo (CETESB, 2006).

Grupo	Densidade	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24 h	1 - 2 dias
II	0,80 à 0,85	35 à 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 à 0,95	17,5 à 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> - 7 dias

Tabela 02: Características físicas do óleo cru (CETESB, 2006).

Gravidade específica (15 °C)	Grau API (15 °C)	Viscosidade (38°C)	Ponto de pureza (°C)	Ponto de ignição (°C)	Ponto de ebulição (°C)
0,8 a 0,95	5 a 40	20 a 1000	- 35 a 10	variável	30 a 500

Estas características do óleo permitem prever com ele poderá migrar no substrato. Em seguida serão descritas as formas de transporte do óleo em meio poroso.

5.1.2 Formas de transporte do produto em meio poroso

Conforme Ferreira e Zuquette (1998), o comportamento do contaminante no meio físico é influenciado pelo tipo de contaminante, suas características físico-químicas e pelas características dos materiais sólidos que compõem o meio. Assim, dependendo do tipo de produto e das características do meio físico haverá diferentes possibilidades, tanto de infiltração quanto de interação desses contaminantes com as partículas do solo ou mesmo com os microorganismos, os quais, muitas vezes, atuam como um modo de atenuar essas substâncias.

Existem duas formas de fluxo: aquoso e não-aquoso. Ferreira e Zuquette (1998) citam que o fluxo aquoso ocorre quando o meio de transporte é a água e os produtos, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, encontram-se dissolvidos na fase aquosa. Já o fluxo não-aquoso – NAPL ocorre quando os produtos não são solúveis em água, mas permanecem como fase separada, tendo os hidrocarbonetos como produtos imiscíveis mais comuns.

Os NAPLs podem ser divididos em duas subfases: uma líquida não-aquosa leve (LNAPL) e outra líquida não-aquosa densa (DNAPL).

Na zona saturada contaminada com NAPLs podem ocorrer três possíveis fases – sólidos, NAPL e água - enquanto na zona não saturada, a entrada de NAPL resulta na ocorrência de quatro fases (Figura 02).

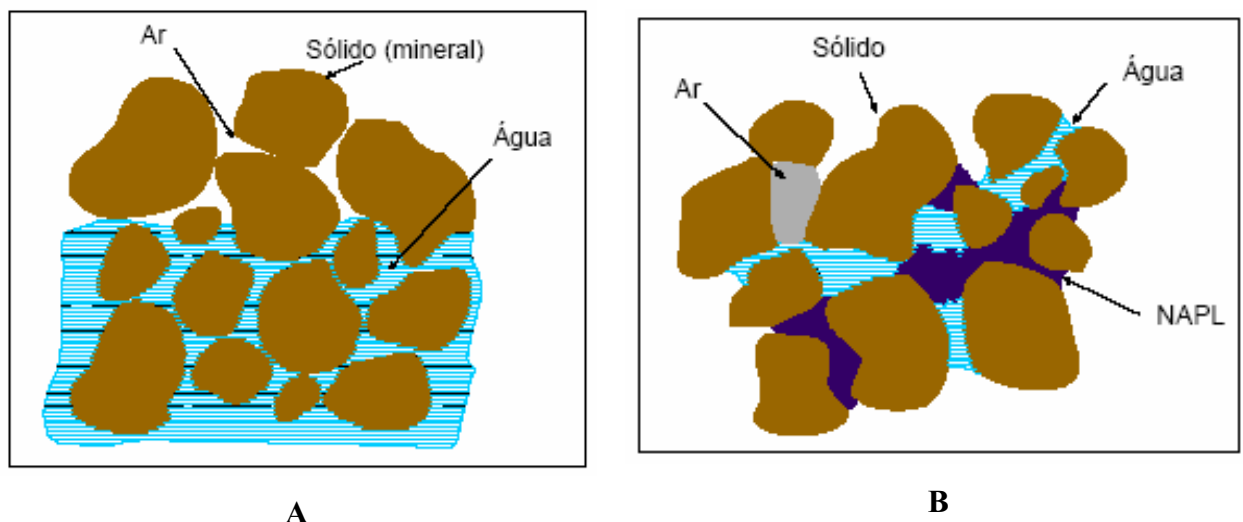


Figura 02: Diferentes fases presentes na zona não saturada sem contaminação (A) e zona saturada com a presença do contaminante (B) (MANCINI, 2002).

Mancini (2002) descreve quatro fases que podem estar presentes em uma zona saturada contaminada: (1) fase gasosa: contaminantes presentes na fase vapor; (2) fase aquosa: uma parte dos contaminantes pode estar dissolvida na água, dependendo da sua

solubilidade; (3) fase imiscível: os contaminantes estão presentes como uma fase imiscível; (4) fase sólida: os contaminantes podem estar adsorvidos na superfície dos sólidos.

5.1.2.1 Fase Líquida não-aquosa leve – LNAPL

Ferreira e Zuquette (1998) descrevem que a fase líquida não aquosa leve – LNAPL corresponde à fase líquida não aquosa cuja densidade é menor do que a da água (<1g/ml), sendo que o líquido é classificado com uma fase líquida não aquosa leve. Os LNAPLs, normalmente, incluem acetona, gasolina, óleo aquecido, querosene e benzeno.

Quando há ocorrência de vazamentos, esses migram verticalmente pela zona não saturada sob a influência das forças gravitacional e capilar. Alguma expansão horizontal também ocorrerá devido à atração das forças capilares (DEHAINI, 2001, apud MANCINI, 2002).

O termo forças capilares se refere às forças que influenciam a quantidade de movimento dos hidrocarbonetos em fase líquida pelos interstícios do solo ou espaços vazios. Essas forças dependem de: a) o solo esteja molhado com água ou com hidrocarbonetos em fase líquida; b) as propriedades físicas e químicas dos hidrocarbonetos em fase líquida; c) as características do solo (GUIGUER, 2000, apud MANCINI, 2002).

O transporte do LNAPL através das zonas não saturadas e saturadas depende da quantidade de LNAPL liberado no meio (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998). A água de infiltração dissolve os componentes solúveis presentes no LNAPL, tais como o benzeno, o tolueno e o xileno, e os transporta até a zona saturada. Esses contaminantes formam uma pluma que se distribui por difusão e advecção (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).

Mancini (2002) cita que, quando um grande volume de LNAPL é liberado, este se desloca no sentido da franja capilar próximo à zona saturada. Os componentes solúveis do LNAPL atravessam adiante ultrapassando os componentes menos solúveis. No topo da franja capilar, onde a água satura um grande volume de poros, o material acumulado causa uma redução na permeabilidade relativa do LNAPL. Impedido de mover-se para baixo, o LNAPL tende a se espalhar sobre o topo da franja capilar.

Em razão de sua baixa densidade, os LNAPL's flutuam próximo ao nível da água subsuperficial, na zona de capilaridade. Por causa desses mecanismos, alguns produtos, tais como a gasolina, querosene e alguns outros óleos, são encontrados como produtos livres sobre o topo da franja capilar (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).

Quando o suprimento de LNAPL cessa, o volume acumulado mantém o movimento descendente até atingir a saturação residual. A lixiviação do LNAPL existente nas partes

superiores da zona não saturada reduz grande parte da frente de contaminação na interface LNAPL – zona saturada, fazendo com que a zona saturada retroceda. Visto que o LNAPL próximo à zona saturada, encontra-se no estado de saturação residual, o retrocesso da água subsuperficial não consegue deslocar todo o LNAPL (MANCINI, 2002).

O bombeamento da água da zona saturada e as mudanças sazonais também provocam o rebaixamento do nível da água subterrânea. Quando os LNAPL's estão localizados no topo do nível da zona saturada, a depressão associada também causa um novo abaixamento do LNAPL – frente de água subsuperficial. Dessa forma os LNAPL's podem ocupar uma grande espessura da zona saturada, devido ao aprisionamento nos poros, o que gera a contaminação de um grande volume de água (EPA, 1996, apud MANCINI, 2002).

5.1.3 Mecanismos de Transferência de Contaminantes

A dinâmica dos contaminantes no solo costuma ser explicada através de três mecanismos de transferência de massa, a saber: advecção, dispersão e atenuação. Esses mecanismos são assim descritos a seguir, segundo a concepção de Azambuja et al., (2002):

- **Advecção:** consiste no mecanismo onde os contaminantes seguem coincidentemente com os vetores de fluxo e guardam uma relação direta com a velocidade de percolação no solo. É o mecanismo preponderante na formação e mobilização da fase livre dos hidrocarbonetos.

- **Dispersão:** mecanismo responsável pela diminuição da concentração de contaminantes no fluido de percolação e que pode se dar através de dois processos: dispersão hidrodinâmica e difusão molecular. A dispersão hidrodinâmica acontece pela restrição de fluxo nos poros do solo, o que gera redução de velocidade de percolação dos componentes mais viscosos. A difusão molecular é intrinsecamente, um fenômeno de diluição dos componentes solúveis e é o principal processo formador da fase dissolvida, responsável pela maior mobilidade dos contaminantes.

- **Atenuação:** redução de contaminantes transportados pela advecção ou diluição através de reações químicas ou físico-químicas. A atenuação química é mais intensa em solos com maior capacidade de troca catiônica e atua reduzindo componentes das fases livres e adsorvidas. Também nesse elenco estão as reações de bioconversão, nas quais, parcelas de hidrocarbonetos são transformadas em ácidos orgânicos ou mesmo totalmente oxidadas.

5.2 Cartas e Mapas de Sensibilidade Ambiental

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) constituem-se em componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo (BRASIL, 2002).

As Cartas SAO são documentos cartográficos que exprimem a sensibilidade do ambiente frente ao vazamento de óleo.

As áreas ecologicamente sensíveis, apresentadas no inciso IV do Art. 2º da Lei nº 9.966/2000, são “regiões de águas marítimas ou interiores, definidas por ato do Poder Público, onde a prevenção, o controle da poluição e a manutenção do equilíbrio ecológico exigem medidas especiais para a proteção e preservação do meio ambiente” (BRASIL, 2002).

As áreas sensíveis correspondem àquelas com maiores riscos, tanto biológicos como socioeconômicos, e são regiões onde, se as medidas de resposta forem bem sucedidas, resultam em significativa redução da contaminação. Os impactos de um derramamento podem ser minimizados se os locais mais sensíveis ao contato com o óleo, como, por exemplo, os manguezais, puderem ser protegidos (ARAÚJO et al., 2004).

Um termo que pode ser confundido com sensibilidade ambiental corresponde a Resiliência, cuja definição corresponde à capacidade de um ecossistema retornar às condições originais ou ao estado estável, após ter sofrido uma alteração ou agressão (VEROCAI, 2001, apud PEREIRA, 2002). Este termo pode ser confundido, já que para a classificação da sensibilidade são considerados, entre outros aspectos, o tempo e modo de recuperação do ambiente frente ao vazamento de óleo.

Araújo et al. (2004) descrevem que os mapas/cartas de sensibilidade ambiental representam uma ferramenta importante para a tomada de decisões nos casos de acidentes, uma vez que permitem rápida identificação das áreas sensíveis. Dessa forma, colaboram na redução das conseqüências ambientais tanto dos derramamentos quanto dos esforços de limpeza.

As Cartas SAO auxiliam a reduzir as conseqüências ambientais de vazamentos de óleo e orientam os esforços de contenção e limpeza/remoção, pela identificação da sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, de seus recursos biológicos e das atividades socioeconômicas que caracterizam a ocupação dos espaços e o uso dos recursos costeiros e marinhos nas áreas representadas (BRASIL, 2002).

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo são utilizadas como ferramenta nas seguintes situações principais (BRASIL, 2002):

- *Planos de contingência*: no planejamento de prioridades de proteção, estratégias de contenção e limpeza/remoção, e quantificação dos recursos necessários ao combate a derramamentos;

- *Operações de combate a derramamentos de óleo*: possibilitando a avaliação geral de danos e facilitando a identificação dos locais sensíveis, rotas de acesso, áreas de sacrifício e quantificação/localização de equipamentos de resposta;

- *Planejamento ambiental*: na avaliação de recursos que possam estar em perigo, podendo ser um componente valioso de um estudo de impacto ambiental, auxiliando na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria de petróleo. De modo mais específico, reforça os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial.

Como se pode observar, a partir de uma Carta SAO, outros planos podem ser desenvolvidos, definindo-a como uma carta de prevenção e otimização de trabalhos após um possível vazamento de óleo.

Nota-se também que as Cartas SAO reúnem informações dos três segmentos do ambiente, sejam eles de natureza física, biótica ou sócio-econômica. Cabe ressaltar que os parâmetros aqui analisados e comentados referem-se aos aspectos do meio físico (geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, etc.) e que não estão sendo considerados os aspectos bióticos e socioeconômicos, embora esses fatores devam ser sempre observados concomitantemente.

Silva e Araújo (1994) apresentam a diferença entre mapas de sensibilidade, mapas de suscetibilidade, e mapas de vulnerabilidade ambiental a derramamentos de óleo:

- Sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo: resposta negativa de determinado ambiente ao impacto causado por um derramamento de óleo.

- Suscetibilidade ambiental a derramamentos de óleo: é a tendência ou probabilidade que uma localidade seja atingida por óleo, no caso de derramamentos ocorridos sob condições ou cenários pré-estabelecidos, ou seja, através de simulações.

- Vulnerabilidade ambiental a derramamentos de óleo: indica a capacidade de um ambiente sofrer lesões ou danos, no caso de um derrame de óleo que ocorra em determinadas condições.

As cartas de sensibilidade são expressas por meio de Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL). São parâmetros onde as áreas são classificadas de 1 (menor índice de sensibilidade) até o valor 10 (maior índice de sensibilidade). Para cada índice a uma cor padrão correlacionada.

O sistema de classificação de sensibilidade é baseado no conhecimento das características geomorfológicas das áreas do litoral, considerando os seguintes fatores: grau de exposição à energia de ondas e marés; declividade do litoral; tipo do substrato. Para a classificação da sensibilidade da costa é fundamental o entendimento das inter-relações entre os processos físicos, tipos de substrato e biota associada, que produzem ambientes geomorfológica e ecologicamente específicos, assim como padrões previsíveis de comportamento do óleo, padrões de transporte de sedimentos e impactos biológicos (BRASIL, 2002).

Para o Brasil, foram estes índices foram adaptados para as condições locais, conservando os valores de 1 a 10, sendo os ambientes de manguezais considerados os mais sensíveis. Para áreas interiores ou continentais não são registradas padronizações de índices, mas apenas alguns trabalhos que focam estas perspectivas, com a Metodologia MARA, descrita a seguir.

5.3 Mapeamento do Risco Ambiental (Metodologia MARA)

É uma metodologia apresentada por Mendes et al. (2005), na qual é apresentado o Mapeamento do Risco Ambiental – MARA - em faixas de dutos, com seu escopo e metodologia de elaboração, justificando a adoção de mapas ambientais dentro do contexto dos Estudos de Análise de Risco – EAR, nos empreendimentos dutoviários da Petrobras/Transpetro. A elaboração desta metodologia justifica-se pelo fato de buscar uma ferramenta prática para conhecimento e análise dos elementos ambientais mais vulneráveis ao longo das faixas de dutos, na ocorrência de derramamentos acidentais de hidrocarbonetos líquidos, no meio ambiente.

Mendes et al., (2005) discorrem que o MARA busca analisar de forma qualitativa a correlação entre sensibilidade ambiental, volumes vazados nos ambientes vulneráveis ao derramamento do óleo, práticas e recursos das ações da contingência e ações de mitigação para proteção dos elementos ambientais e usos socioeconômicos, de forma a complementar os Planos de Ação de Emergência da Petrobras/Transpetro.

Quanto à sensibilidade ambiental, é apresentado o mapeamento e a classificação dos elementos ambientais, os usos do solo e os recursos hídricos, bem como pontos notáveis, que são suscetíveis a potenciais vazamentos em dutos que transportam hidrocarbonetos de baixa pressão de vapor, para subsidiar os planos e ações de contingência (MENDES et al., 2005).

Com relação às dutovias, nesta metodologia é sugerido que, para regiões rurais, a metodologia busque interpretar as interferências dos vazamentos acidentais e as ações da emergência, por meio do uso de mapas temáticos, na escala 1:50.000, sobre imagem de satélite. Quanto à extensão do mapeamento rural, as indicações dos temas acima são representadas na totalidade das áreas mapeadas, compreendida em faixa de 20 km centrada na diretriz do duto. Já, para regiões urbanas que interferem diretamente com o duto, o método considera fotos aéreas, analisadas na escala 1:10.000.

Nesta metodologia são abordados dois conceitos importantes (MENDES et al., 2005):

- **Pontos Notáveis:** são elementos que podem interferir com a integridade do duto ou que podem estar vulneráveis no caso de um vazamento, estando localizados na faixa de servidão ou próximo à mesma, por exemplo, travessia de rios e comunidades.

- **Elementos Ambientais:** são as áreas prioritárias de proteção que podem ser afetadas por um vazamento na bacia hidrográfica analisada, tais como pontos de captação de água de uso urbano, industrial ou rural, unidades de conservação, habitats naturais, áreas agrícolas inundadas, corpos d'água, áreas importantes do ponto de vista socioeconômico, entre outros. O método baseia-se na consideração que derramamentos de hidrocarbonetos, ao atingirem a rede natural de drenagem, seguirão pelos condutores naturais até desaguar em outros corpos d'água, vindo pelo caminho a impactar elementos ambientais ou de uso socioeconômico.

Esses pontos notáveis, conforme o conceito aplicado aos condicionantes do meio físico, podem ser relacionados aos processos geológicos e comportamentos geotécnicos que podem causar rompimento de uma dutovia. Podem ser pontos com escorregamento, erosão, ou em que o terreno apresente uma baixa capacidade de suporte, por exemplo.

5.4 Definição e análise dos elementos do meio físico

Com relação aos parâmetros do meio físico que podem ser utilizados em Cartas SAO, podem ser considerados dois pontos importantes:

1º) Os processos geológicos e os comportamentos geotécnicos são parâmetros que devem ser considerados na forma de elementos de risco que podem provocar possíveis rupturas nos dutos instalados e, conseqüentemente, vazamento de óleo no substrato. Podem ser trabalhados como possibilidade de ocorrência do processo (probabilidade) dentro de uma análise de risco;

2º) As características e propriedades geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrogeológicas/hidrológicas do meio físico são responsáveis pela forma de migração do óleo uma vez inserido no ambiente. Podem potencializar ou reduzir o fluxo de contaminação em

determinada área. Também, de acordo com essas características, podem ser previstos os comportamentos geotécnicos dos materiais além dos processos geológicos que são mais suscetíveis em decorrência das características dos materiais.

Sendo assim, baseado nessas duas colocações foram trabalhadas as diferentes informações do meio físico, com levantamento e observação das informações de cada aspecto do meio físico que podem influenciar na migração do óleo, seja na superfície ou subsuperfície. Os processos geológicos e comportamentos geotécnicos dos terrenos foram avaliados como formas potenciais de geração de riscos para o duto instalado.

5.4.1 Processos geológicos e comportamentos geotécnicos

O transporte de substâncias realizado por dutos está sujeito à ocorrência de vazamento, isto porque muitas dutovias foram implantadas há muitos anos e estão sujeitas aos processos do meio físico e interação com o substrato em que estão implantados (comportamentos geotécnicos dos terrenos).

Ferreira e Zuquette (1998) descrevem que os acidentes envolvendo dutos constituem uma fonte potencial de contaminação das águas subsuperficiais, superficiais e dos componentes dos meios físico e biológico, em geral. Este fato está intimamente relacionado com as peculiaridades que os dutos apresentam quanto ao aspecto longitudinal, podendo atravessar várias cidades, propriedades rurais e industriais, estradas, diversas bacias hidrográficas, e extensas áreas de recarga.

Bitar et al. (1990) citam os seguintes processos do meio físico: erosão pela água; erosão eólica; escorregamento; queda de bloco; queda de detrito; rastejo de solo; corrida de massa; subsidência; carstificação; deposição de sedimentos ou partículas; escoamentos das águas em superfície; dinâmica das águas em sub-superfície; interações físico-químicas na água e no solo; dinâmica do ar ou gases no solo ou rocha; dinâmica da água no ar; potencialização e desencadeamento de sismo; radioatividade; inundação; processos pedogenéticos.

Cerri (1993) classifica os processos geológicos conforme apresentado a seguir:

- processos endógenos (associados à geodinâmica interna): terremotos, atividades vulcânicas, e
- processos exógenos (associados à geodinâmica externa): escorregamentos e processos correlatos, erosão e assoreamento, subsidências e colapsos de solo, solos expansivos.

Na implantação, operação e manutenção de dutovias, alguns processos do meio físico e comportamentos geotécnicos do terreno podem ser observados e entendidos, na tentativa de se evitar imprevistos durante obra e na operação e/ou manutenção na faixa dos dutos. Chow (2003), em seu trabalho de análise de riscos, apresenta um conjunto de processos geológicos e comportamentos geotécnicos que podem gerar riscos associados às dutovias. Para a autora, esses processos (Quadros de 05 e 06) e comportamentos geotécnicos (Quadros de 07 a 11), podem atingir, de alguma forma, a dutovia implantada, gerando riscos de ruptura e/ou de exposição dos dutos.

Quadro 05: Quadro-síntese sobre erosão hídrica do solo (CHOW, 2003).

Conceitos	Erosão hídrica é um conjunto de processos que atuam na superfície terrestre, levando à remoção de materiais minerais e rochas decompostas pela ação da água. Quando a água constitui o agente essencial o processo de dissolução torna-se também importante.
Condicionantes Naturais	Principal fator é a ação hídrica (águas superficiais e subsuperficiais). Outros fatores também contribuem como: cobertura vegetal, relevo, cobertura pedológica, substrato rochoso, clima, topografia e tectônica.
Condicionantes Antrópicos	Práticas agrícolas inadequadas (queimadas, exposição do solo, abertura de valas), exploração mineral (exposição do solo, disposição de rejeitos, garimpo); desmatamento; obras civis.
Conseqüência dos Processos/Comportamentos para os Dutos	Exposição do duto.

Quadro 06: Quadro-síntese sobre escorregamentos e processos correlatos (CHOW, 2003).

Conceito	Descidas de solo ou de massas de rochas decompostas geralmente por efeito da gravidade. Em estruturas inclinadas os escorregamentos de terreno são mais facilitados.
Condicionantes Naturais	Características do meio físico natural: complexo geológico-geomorfológico, complexo hidrológico-climático, vegetação original e gravidade. Pluviosidade, erosão pela água e vento, variação de temperatura, dissolução química, etc.
Condicionantes Antrópicos	Remoção da cobertura vegetal; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; vazamentos na rede de água; presença de fossas; execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros; execução deficiente de aterros; execução de patamares; lançamento de lixo nas encostas/taludes; descalçamento de corpos rochosos; desproteção da camada superficial, promovendo a ocorrência de processos erosivos, bem como elevando o fluxo de água na massa de solo. Obras lineares, escavações a céu aberto, obras que provocam obstrução da drenagem natural.
Conseqüências dos Processos/Comportamentos para o Duto	Desde exposição até ruptura do duto.

Quadro 07: Quadro-síntese sobre solo colapsível (CHOW, 2003).

Conceito	Comportamento de solos que ao aumentar o conteúdo de água em seus espaços vazios ou serem carregados e posteriormente umedecidos, experimentam uma brusca redução de volume.
-----------------	--

Condicionantes Naturais	<p>Clima: depósitos de climas áridos e semi-áridos. Alternância entre estação seca e precipitações intensas, condicionando a lixiviação dos horizontes superficiais.</p> <p>Microestrutura: estrutura porosa não-saturada; potencialmente instável; existência de uma pressão aplicada que aumenta a instabilidade. Solos extremamente compressíveis e pouco resistentes à erosão.</p> <p>Aumento do grau de saturação dos solos: o desarranjo estrutural em decorrência do umedecimento do solo, requer um estado de tensão característico propiciando a ruptura das ligações do arcabouço do solo. O colapso depende do tipo do líquido de inundação, que atua tanto atacando as ligações cimentíceas, como alterando a constante dielétrica e a tensão superficial desses solos.</p>
Condicionantes Antrópicos	<p>Geralmente associados a vazamentos das redes de esgoto ou de abastecimento de água, ou ainda, a vazamentos de sistemas de armazenamento de combustíveis ou efluentes químicos.</p>
Conseqüências dos Processos/Comportamentos para os Dutos	<p>Ocorrendo a subsidência pode haver uma ruptura nos dutos.</p>

Quadro 08: Quadro-síntese sobre solo agressivo (CHOW, 2003).

Conceito	<p>Um solo é considerado agressivo a partir de determinações de pH e de sua resistividade, também pode ser levado em consideração a posição do nível d'água no subsolo. A classificação como solo corrosivo varia de país para país, em média um solo com pH inferior a 6 é considerado agressivo.</p>
Condicionantes Naturais	<p>Características físico-químicas: presença de água, presença de sais solúveis, presença de gases, acidez, pH, resistividade e potencial redox. Condições microbiológicas, ação de bactérias aeróbicas e autotróficas. Condições climáticas: chuvas, temperatura, umidade, etc. Condições geológicas: rochas como folhelhos, argilitos e siltitos e depósitos aluviais recentes, podem conter turfas ou argilas orgânicas que acidificam o solo.</p>
Condicionantes Antrópicos	<p>Despejo de lixo e resíduos industriais podem alterar as características do solo, tornando-o mais agressivo.</p>
Conseqüências dos Processos/Comportamentos para os Dutos	<p>A corrosão de tubulações e de estruturas de aço ou concreto pode provocar vazamentos nas dutovias, com perda de produtos e saturação do subsolo.</p>

Quadro 09: Quadro-síntese sobre solo expansivo (CHOW, 2003).

Conceito	<p>Solos argilosos, contendo argilominerais de rede cristalina expansiva, que apresentam considerável aumento de volume quando há elevação do conteúdo de umidade</p>
Condicionantes Naturais	<p>Fatores internos: Tipo de argilomineral, capacidade de troca iônica, dimensão das partículas, conteúdo inicial de água, densidade seca, cimentação diagenética.</p> <p>Fatores externos: Natureza e concentração dos íons dissolvidos na água de acesso ao material amostrado, natureza química da água de infiltração, condição de acesso da água aos materiais, contrapressão do meio circundante ao material.</p>
Condicionantes Antrópicos	<p>Construções civis em solos argilosos fazem com que equilíbrios tenso-deformacionais sejam afetados. Com o decorrer do tempo, há uma redistribuição da água nos poros debaixo da estrutura edificada.</p> <p>As forças de expansão do solo atuam na parte central da estrutura onde se dá uma maior concentração de umidade, os movimentos do terreno são sazonais dependendo da quantidade de água que penetra no solo.</p>
Conseqüências dos Processos/Comportamentos para os Dutos	<p>Alguns argilo minerais expansivos estão relacionados à aceleração da alteração intempérica e a problemas de estabilidade de taludes que podem levar a deformação e ruptura do duto.</p>

Quadro 10: Quadro-síntese sobre subsidência e colapso de solo em áreas cársticas (CHOW, 2003).

Conceito	<p>A subsidência e colapso de solos associados à evolução de carstes cobertos correspondem a movimentos superficiais de terrenos cársticos, capeados por</p>
-----------------	--

	solos ou sedimentos, caracterizados por fenômenos de afundamentos.
Condicionantes Naturais	Fatores hidrológicos: águas saturadas com ácidos orgânicos atuando na dissolução de carbonatos e provocando o aparecimento de cavidades na rocha, rebaixamento do nível d'água. Características intrínsecas do substrato rochoso: existência de calcários fraturados no subsolo, intercalação de calcários com rochas não carbonáticas e/ou solos de alteração, estratos rochosos inclinados.
Condicionantes Antrópicos	Exploração das águas subterrâneas: perda da capacidade de suporte entre os materiais inconsolidados e os tetos de cavidade em rochas; incremento da velocidade da água subterrânea; aumento nas variações dos níveis de água subterrânea e áreas de recarga localizadas ou induzidas. Mudança nos regimes hidrológicos; Mineração de rochas carbonáticas.
Conseqüências dos Processos/Comportamentos para os Dutos	Subsidência e colapso na faixa, ou próximo a faixa do duto.

Quadro 11: Quadro-síntese sobre solos com baixa capacidade de suporte (CHOW, 2003).

Conceitos	Conhecidos também como solos moles. Com baixa resistência ao cisalhamento e elevada compressibilidade.
Condicionantes Naturais	Geralmente são solos de origem aluvial, depósitos inconsolidados, com elevados teores de umidade e matéria orgânica.
Condicionantes Antrópicos	Solicitações que levam ao adensamento do solo devido a expulsão de água do interior do solo.
Conseqüência dos Processos/Comportamentos para os Dutos	Instabilidades e deformações, do tipo recalques, ao longo da faixa do duto.

Além dos comportamentos e processos abordados por Chow (2003), Nogueira Júnior e Marques (1998) apresentam uma série de condicionantes geológicos que podem influenciar a implantação, operação e manutenção de uma dutovia, dos quais se destacam:

- **Aluviões e coluviões:** a estes materiais está associada grande parte dos problemas geotécnicos de fundação e estabilidade. Para os *aluviões*, podem ser encontradas argilas com baixa capacidade de suporte, sendo comum a sua ocorrência em planícies fluviais e costeiras. Por suas baixas permeabilidades, reagem lentamente às flutuações da superfície freática, podendo causar artesianismo na água do subsolo. Devido a essas características, esses materiais apresentam estabilidade precária nas escavações de valas mais profundas e sofrem adensamento quando submetidos à aplicação de cargas, ocorrendo recalques e até rupturas de fundações. Nos *coluviões* podem ser encontradas areias fofas, que suportam cargas relativamente baixas e podem sofrer processos de liquefação, adensando-se bruscamente quando submetidas a uma vibração. *Corpos de tálus*, quando apresentam equilíbrio precário, sujeitos a rastejo e, eventualmente, a escorregamentos, podem se instabilizar, quando escavados, comprometendo o talude da escavação ou a própria encosta onde está sendo implantada a obra;

- **Topo rochoso:** podem ser encontradas zonas mais ou menos alteradas, transições com o manto de alteração e grandes irregularidades são características que devem ser consideradas nos projetos de escavações;

- **Estruturas:** a posição espacial e as características do material de preenchimento ou da superfície de fraturas, falhas, xistosidade, estratificações, etc. devem ser conhecidas, de forma a se obter um dimensionamento adequado dos taludes escavados, provisórios ou definitivos, e eventuais contenções, evitando-se escorregamento, instabilização de encostas e empuxos indesejáveis sobre as tubulações;

- **Água:** no traçado de dutovias, a travessia de cursos d'água e áreas alagadiças é uma ocorrência constante. O conhecimento das condições hidrogeológicas locais restringe-se, em geral, ao conhecimento da posição do nível do lençol freático e seu comportamento. Também pode ser necessário, em alguns casos, o conhecimento das permeabilidades dos materiais presentes, direções de fluxo da água, artesianismo e da possível existência de sulfetos e outras substâncias corrosivas. A presença de água pode gerar escorregamentos, expansividade, colapsividade e erosão. Em dutos enterrados, a elevação do nível da água no subsolo provoca empuxos indesejáveis que, no caso de tubulações de grande diâmetro em pequenas profundidades, quando o peso do conjunto tubo-reaterro é menor que o empuxo da água, produzem flutuação e arrancamento.

Ferreira e Zuquette (1998) citam que, caso ocorra vazamento, é de suma importância conhecer as características físico-químicas do material liberado e o seu comportamento de acordo com os materiais e as estruturas geológicas presentes na área em questão, bem como as possíveis interações entre as partículas dos solos e os contaminantes.

5.5 Condicionantes do meio físico – Aspectos gerais

Os aspectos do meio físico, quais sejam, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos/hidrogeológicos, geotécnicos são fatores importantes para se entender o comportamento do hidrocarboneto, seja na superfície, quanto em subsuperfície.

Serão descritos, para cada item (geológico, pedológico, geomorfológico, hidrogeológico e geotécnico), propriedades que podem ser incorporadas nos mapas de unidades do meio físico, que poderão ser mapas auxiliares na elaboração de Cartas SAO.

5.5.1 Aspectos referentes aos Solos

O estudo sobre os solos tornou-se cada vez mais importante para o entendimento da migração da água e de outras substâncias líquidas, tais como os hidrocarbonetos. Identificar suas propriedades geotécnicas (porosidade, permeabilidade, etc.) pode auxiliar na identificação de pontos mais ou menos vulneráveis à contaminação por hidrocarbonetos.

5.5.1.1 Classificações dos Solos

Existem várias formas de classificação de solo. Para a presente pesquisa optou-se por apresentar duas formas de classificação, contendo informações que, de imediato, permitem a identificação de propriedades e características dos solos, auxiliando no entendimento do comportamento do óleo no substrato.

5.5.1.1.1 Perfis de alteração

Correspondem à representação das diferentes camadas dos solos com composições distintas. Cada tipo de rocha pode apresentar um tipo de alteração específica, determinando seu comportamento geotécnico.

Pastore e Fontes (1998) apresentam denominações e características dos horizontes em perfis de alteração (Quadro 12).

Quadro 12: Denominações e características dos horizontes em perfis de alteração.

Horizonte	Características
Horizonte de solo orgânico (I)	Está presente em praticamente todos os perfis, geralmente com pequenas espessuras. É composto por areia, silte e argila, em diferentes proporções, mas sempre contendo quantidade apreciável de matéria orgânica decomposta. Corresponde ao Horizonte A pedológico.
Horizonte Laterítico (II)	Pode ser formado tanto por solo residual quanto por solo transportado, apresentando uma variação granulométrica de acordo com a posição no relevo e rocha de origem. Não apresenta estrutura da rocha, mas uma estrutura formada por processos de pedogênese. As principais características são: corresponde ao horizonte B pedológico; contém quartzo, argilas essencialmente caulínicas e óxidos de ferro e alumínio hidratados, que formam agregados instáveis em estrutura porosa; suas cores predominantes são as de tons vermelhos e amarelados.
Horizonte de solo saprolítico (III)	É composto por solo residual cuja principal característica é apresentar a estrutura reliquiar da rocha de origem, podendo conter até 10% de blocos de rocha. A composição granulométrica é muito variável depende da posição no relevo e a rocha de origem, sendo mais comum areias siltsas pouco argilosas e siltes arenosos pouco argilosos, com minerais mais comumente encontrados são o quartzo, caulinita e mica. Também são características deste horizonte: cor predominante com tonalidades branca, creme, roxo e amarelo-claro; é solo no conceito geotécnico; e mostra claramente as feições estruturais da rocha de origem sendo solo automaticamente residual.
Horizonte saprolítico ou saprólito (IV)	É na realidade, a transição uma transição entre o maciço do solo e maciço rochoso. É composto basicamente por blocos ou camadas de rocha em vários estágios de alteração, com dimensões variáveis, envolvidos por solo saprolítico. O solo tende a se desenvolver ao longo das descontinuidades devido a percolação de água e constitui-se de 10% a 90% de blocos de rocha, apresentado um comportamento geotécnico extremamente variável. Pode apresentar uma alta permeabilidade e dificuldade para escavações.
Horizonte de rocha muito alterada (V)	Caracteriza o topo do maciço rochoso, sendo a rocha geralmente composta por minerais em adiantado estágio de alteração, sem brilho e com resistência reduzida quando comparada à rocha sã. A alteração da rocha é freqüentemente mais intensa ao longo de juntas e fraturas do maciço.
Horizonte de rocha alterada (VI)	Neste horizonte a rocha apresenta minerais coloridos devido ao início do processo de alteração, sendo este mais pronunciado ao longo de juntas e fraturas. A resistência da rocha é bem maior do que do horizonte de rocha muito alterada.
Horizonte de rocha sã (VII)	É composto por rocha predominantemente sã, cujos minerais apresentam-se com brilho, sem sinais evidentes de alteração, podendo haver, no entanto, indícios do início desta ao longo de juntas e fraturas.

A Figura 03 apresenta um perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões serranas.

Este tipo de classificação permite, além da visualização do perfil de solo, informações sobre a composição, textura do solo, que, de imediato, permite inferir comportamentos geotécnicos e formas de migração do óleo. A análise pode ser feita posicionando o perfil de alteração no relevo e inferindo sobre espessura e profundidade do nível d'água (N.A.).

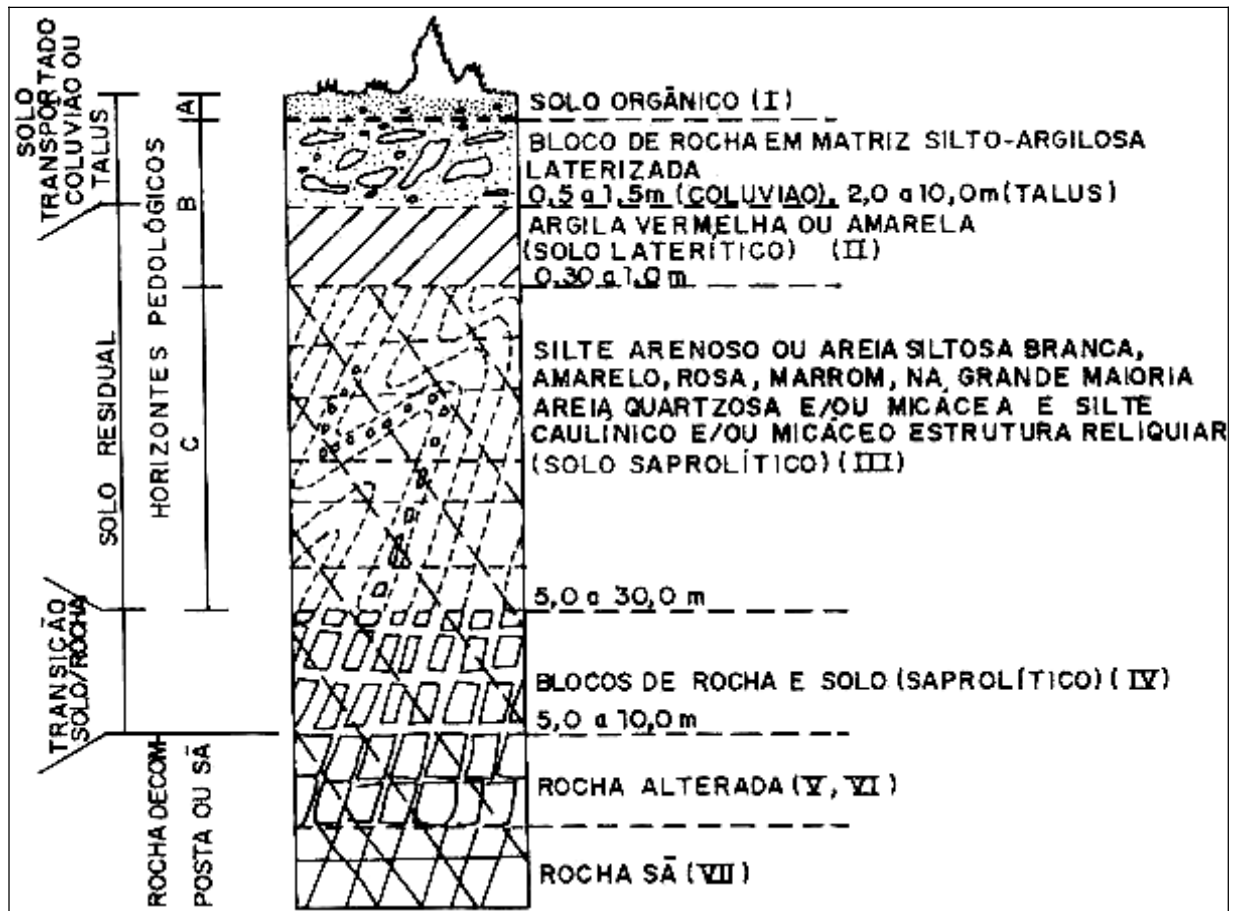


Figura 03: Exemplo de perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões de serra (PASTORE e FONTES, 1998).

5.5.1.2 Propriedades Físicas dos Solos

Segundo trabalho de Mancini (2002) as propriedades físicas dos solos que mais influenciam o comportamento dos hidrocarbonetos líquidos são:

- Porosidade;
- Condutividade hidráulica;
- Heterogeneidade dessas propriedades entre os diferentes tipos de solo.

5.5.1.2.1 Porosidade

A porosidade total ou simplesmente a porosidade de um solo ou rocha pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total (CABRAL, 1997).

$\eta = V_v/V$ (x 100, se o valor da porosidade for expressa em porcentagem) sendo:

η = porosidade total

V_v = volume de vazios

V = volume total

A porosidade depende de fatores tais como o tamanho e forma das partículas do solo, a maneira como essas partículas estão agrupadas (arranjo), e a seleção por tamanho. Ela é composta por partículas bem arredondadas e de tamanho igual, será maior que a porosidade de um solo contendo partículas angulosas pontudas ou arredondadas, mas de tamanhos variáveis. No último caso, as partículas menores podem preencher os vazios entre as partículas maiores (MANCINI, 2002).

O termo **porosidade efetiva** pode ser definido como a quantidade de água fornecida por unidade de volume do material, ou seja, a razão entre o volume de água efetivamente liberada de uma amostra de um meio poroso saturado e o volume total (CABRAL, 1997):

$\eta_e = V_D/V$, sendo:

η_e = porosidade efetiva

V_D = volume de água drenada por gravidade

V = volume total

5.5.1.2 Condutividade Hidráulica

Coefficiente de condutividade hidráulica é uma medida da habilidade do solo em transportar fluido, mas é também função das propriedades do fluido em consideração. Apesar de ambos os termos serem usados indiscriminadamente, condutividade hidráulica é tecnicamente um termo mais apropriado (GUIGUER, 2000, apud MANCINI, 2002).

Para Cabral (1997), a condutividade hidráulica depende das características do meio poroso (porosidade, tamanho, arranjo e distribuição das partículas) e das propriedades do fluido (obviamente um fluido viscoso terá velocidade diferente da velocidade da água que tem baixa viscosidade). A condutividade hidráulica pode ser expressa em função dos parâmetros do meio e do fluido da seguinte forma:

$K = k\rho g/\mu = kg/v$ sendo:

K = condutividade hidráulica [L/T];

k = permeabilidade intrínseca do meio poroso [L^2];

ρ e μ = representam as características do fluido, respectivamente massa específica e viscosidade absoluta, ou então pode ser utilizada a viscosidade cinemática;

g = aceleração da gravidade.

A condutividade hidráulica pode ser expressa em m/s ou cm/s, no entanto alguns livros expressam a condutividade em Meinzer (descarga em galões por dia), podendo ser determinada em laboratório ou em ensaios de campo (CABRAL, 1997).

5.5.1.2.3 Heterogeneidade do Solo

Referem-se à variação da estrutura, estratificação, tipo e tamanho das partículas do solo. A heterogeneidade do solo acarreta em diferenças na porosidade e condutividade hidráulica, dentro ou entre as diferentes camadas de solo. Essas camadas podem consistir de diferentes tipos de solo com porosidades e condutividades hidráulicas significativamente diferentes (GUIGUER, 2000, apud MANCINI, 2002).

As mudanças nas diferentes camadas de solo podem ser (MANCINI, 2002):

- Contínuas e gradativas (mudança gradual de tipos e estrutura do solo);
- Descontínuas e bem-definidas.

A permeabilidade intrínseca (**k**), chamada por alguns de permeabilidade específica, é função do tipo de material poroso, sua granulometria e sua disposição estrutural.

Em um aquífero, a condutividade hidráulica é comandada pela anisotropia e heterogeneidade. Em aquíferos sedimentares isso se deve à deposição de minerais com o lado plano para baixo ou por camadas superpostas de diferentes materiais (CABRAL, 1997).

5.5.2 Aspectos referentes à Geologia

Os tipos de litologia, estratigrafia e estruturas das formações geológicas podem auxiliar no estudo da migração da água de subsuperfície. Isso porque o contaminante tende a acompanhar o fluxo de escoamento, que será de acordo com as características geotécnicas dos solos e estruturas geológicas. A seguir serão descritos aspectos de interesse para o fluxo e escoamento da água em subsuperfície, segundo os diferentes tipos de rochas.

Rochas Sedimentares: as rochas mais importantes como aquíferos são aquelas que apresentam de regular a boa permeabilidade (MANCINI, 2002).

Manoel Filho (1997) descreve que os arenitos, em nível global, formam aquíferos regionais que armazenam grandes quantidades de água potável. As formações areníticas de maior expressão hidrogeológica possuem origens diversas, incluindo ambientes fluviais, eólicos, deltaicos e marinhos. Alguns fatores como a compactação, a cimentação e o arredondamento dos grãos influenciam diretamente no comportamento, na porosidade e condutividade hidráulica.

Testes em camadas de arenitos indicam que a condutividade hidráulica pode apresentar diferenças da ordem de 10 a 100 vezes, em zonas que à luz do simples exame visual, poderiam se classificar como relativamente homogêneas (MANOEL FILHO, 1997).

À medida que as areias se tornam mais cimentadas e compactas, a contribuição das fraturas para a condutividade hidráulica volumétrica do material aumenta. A tendência dos grandes valores de condutividade ocorrem na direção horizontal é substituída por uma maior condutividade de fraturas ao longo da vertical (MANCINI, 2002).

- *Rochas Carbonáticas*: representadas por calcário e calcário dolomítico. Quase toda a dolomita tem origem secundária e resulta da alteração geoquímica da calcita. A condutividade primária de calcários e dolomitos, não fraturados, é geralmente inferior a 10^{-7} m/s, o que representa uma ínfima capacidade de transmissão de água subterrânea (MANOEL FILHO, 1997).

Em geral, as rochas carbonáticas apresentam significativa condutividade hidráulica secundária produzida por fraturas resultantes de movimentos tectônicos, ao longo das quais a circulação de água subterrânea (quando subsaturada em carbonatos) atua dissolvendo a calcita e a dolomita (MANOEL FILHO, 1997).

Rochas Ígneas e Metamórficas: As rochas ígneas e metamórficas apresentam porosidade e permeabilidade primária praticamente nula, devido ao fato de que os vazios intercristalinos são mínimos e não interconectados, expressando condutividades hidráulicas extremamente pequenas (10^{-11} a 10^{-13} m/s) (FETTER, 1993, apud MANCINI, 2002).

A ocorrência de tensões nos vários episódios da história geológica origina as fraturas, falhas e juntas, responsáveis pelo armazenamento da água secundária, a chamada porosidade secundária. As aberturas das fraturas são geralmente menores que 1 mm e podem estar preenchidas por algum material, como a sílica, que acaba por impedir a passagem de água (MANOEL FILHO, 1997).

As características mais importantes das discontinuidades são: persistência ou continuidade, espaçamento, rugosidade, tipo de preenchimento, orientação espacial etc.

Porosidade e permeabilidade dos terrenos cristalinos são formadas por juntas, falhas, fraturas ou zonas de cisalhamento, composto por rochas cataclásticas/ultramilonitas.

Segundo Magalhães e Cella, (1998), as juntas ou diáclases são discontinuidades que ocorrem de forma sistemática, segundo orientações preferenciais, compondo famílias ou sistemas. Em geral, comparecem dois ou mais sistemas que se entrecruzam, formando blocos poliédricos, cujas formas e dimensões dependem das orientações e espaçamentos relativos de cada sistema.

Segundo as origens, quando paralelas ao maior esforço, as juntas podem ser classificadas como juntas de partição, distensão ou extensão e, quando oblíquas a este, juntas de cisalhamento (MAGALHÃES e CELLA, 1998).

Magalhães e Cella (1998) afirmam que as falhas, paráclases ou zonas de cisalhamento rúptil são descontinuidades ao longo das quais os blocos separados sofrem deslocamentos, atritando-se um contra o outro e, às vezes, impondo fragmentação e cominuição das rochas.

As falhas e zonas de falha são definidas por um ou mais planos, estrias de atrito (*slicken sides*) e por produtos de cominuição que consistem a série de rochas cataclásticas (MAGALHÃES e CELLA, 1998).

A fragmentação das rochas ao longo de falhas processa-se com o desenvolvimento de microfissuras esparsas, que se adensam e se ampliam, até formarem as fraturas e iniciarem os deslocamentos de blocos. A cominuição intensa das rochas tende a constituir a “farinha” de falha, ultrafina e, em geral, de cor escura (MAGALHÃES e CELLA, 1998).

5.5.3 Aspectos referentes à hidrologia e hidrogeologia

5.5.3.1 O Ciclo Hidrológico

A água constitui uma das substâncias mais importante para a sobrevivência do homem. Conhecer suas características e estudar seus processos de escoamento e infiltração consiste, muitas vezes, em relevante importância para uso deste bem.

Jorge e Uehara (1998) descrevem que o ciclo da água na natureza inicia-se com a evaporação que ocorre nos mares, rios e lagos, sendo que o vapor de água, alcançando a atmosfera, é distribuído pelos ventos e se precipita quando atinge temperaturas mais baixas. Quando chove sobre a superfície da Terra, uma parte da água se evapora e retorna à atmosfera; outra se desloca por sobre a superfície, constituindo as águas de escoamento superficial (rios e lagos); outra parte da água da chuva infiltra-se no solo, formando as águas subterrâneas.

Alguns fatores podem ser destacados no ciclo hidrológico, sendo (Jorge e Uehara, 1998):

- Escoamento superficial ou deflúvio: corresponde à parcela da água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade que a conduz para cotas mais baixas. Esse escoamento depende das características hidráulicas dos solos e das rochas, da cobertura vegetal e das estruturas biológicas, assim como da forma da bacia de drenagem, da declividade de sua superfície e do teor de umidade dos seus terrenos.

Sobre o escoamento superficial, existe o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, que corresponde à razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água de chuva que provocou o deflúvio (JORGE E UEHARA, 1998).

- Infiltração: é a passagem de água da superfície para o interior do terreno, sendo um processo que depende da disponibilidade de água, da natureza do terreno, do estado de sua superfície, da sua cobertura vegetal e do seu teor de umidade. Também há a capacidade de infiltração de um solo é definida como sendo a taxa máxima pela qual a água pode ser absorvida pelo solo.

- Evapotranspiração: corresponde à perda de água por evaporação a partir do solo e transpiração de plantas. Os fatores que influem são: temperatura do ar, umidade e vento.

Bacias Hidrográficas: é a área de drenagem que contém o conjunto de cursos da água que convergem para um rio, até a seção considerada, sendo, portanto, limitada em superfície a montante, pelos divisores de água, que correspondem aos pontos mais elevados do terreno e que separam bacias adjacentes (JORGE e UEHARA, 1998). Os autores descrevem que as características físicas são definidas pelas características morfológicas, representadas pelo tipo de relevo, forma, orientação e declividade da bacia de drenagem e pelos aspectos geológicos, representados pelas estruturas, tipos litológicos, mantos de intemperismo e solos. Além desses aspectos, a cobertura vegetal e o tipo de ocupação da bacia exercem também uma influência importante nas relações entre infiltração e escoamento superficial em uma bacia de drenagem.

Jorge e Uehara (1998) apresentam os seguintes conceitos:

- **Forma:** a forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante devido ao tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, que uma gota d'água de chuva leva para percorrer a distância entre o ponto mais afastado da bacia.

Existem índices para determinar a forma da bacia: *Coeficiente de compacidade (Kc):* é a relação entre o perímetro da bacia (P, em km) e a área (A, em km²) de um círculo com área igual a da bacia. Varia com a forma da bacia, ou seja, quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade; *Fator de forma (Kf):* é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A largura média é obtida pela divisão da área da bacia (A, km²) pelo seu comprimento (L, em km). O comprimento da bacia corresponde à extensão do curso d'água mais longo, desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia.

$$Kf = A/L^2$$

Jorge e Uehara (1998) citam que uma bacia com um fator de forma baixo (por exemplo, estreita e longa) é menos sujeita às enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma (por exemplo, circular).

Relevo: o relevo de uma bacia hidrográfica e, principalmente, a declividade dos seus terrenos, exerce grande influência sobre a velocidade de escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais, constituintes da rede de drenagem das bacias.

Jorge e Uehara (1998) descrevem que a organização espacial dos rios é influenciada e controlada pelas características geomorfológicas e estruturas geológicas da bacia de drenagem. As atitudes das camadas, bem como outras estruturas geológicas, influem tanto na topografia e forma da bacia, como também no padrão de drenagem. Esses padrões de drenagem são indicativos da permeabilidade relativa do terreno e dos controles exercidos pelas estruturas e pelos tipos de rocha sobre a infiltração e os movimentos da água subterrânea. Conhecendo-se a tipologia dos padrões, podem-se fazer algumas interpretações sobre a natureza dos terrenos, a disposição das camadas, as linhas de falhamento e os processos fluviais e climáticos predominantes.

Em geral, terrenos relativamente impermeáveis apresentam densa rede de drenagem, enquanto que os mais permeáveis possuem densidade menor.

5.5.3.2 Águas subterrâneas - Distribuição Vertical das Águas Subterrâneas

Abaixo da superfície do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida, basicamente, em duas zonas horizontais, saturada e não saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água (FEITOSA, 1997):

Zona Não Saturada, Zona de Aeração ou Zona Vadosa: situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases (principalmente ar e vapor d'água) e por água. De baixo para cima, essa zona divide-se em três partes:

a) *Zona da água do solo ou zona de evapotranspiração:* está situada entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. A sua espessura, portanto, pode variar de poucos centímetros (na ausência de cobertura vegetal) até vários metros em regiões de vegetação abundante. Nesse domínio, as plantas utilizam, para as suas funções de transpiração e nutrição, água capilar isolada ou suspensa.

b) *Zona Intermediária*: está compreendida entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas. A umidade existente nesta zona origina-se de água capilar isolada, fora do alcance das raízes, e a água de retenção por forças não capilares.

c) *Zona Capilar*: estende-se da superfície freática até o limite da ascensão capilar da água. A sua espessura depende, principalmente, da distribuição do tamanho dos poros e da homogeneidade do terreno. Como a umidade decresce de baixo para cima, na parte inferior, próximo da superfície freática, os poros encontram-se praticamente saturados. Já nas partes mais superiores, somente os poros menores encontram-se preenchidos com a água, de modo que o limite superior dessa zona tem uma forma irregular. Adota-se, porém o conceito de franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%).

Zona Saturada ou Zona de Saturação: fica abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes no terreno estão preenchidos com água. A superfície freática é definida como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida a pressão atmosférica. É uma superfície real na qual a pressão é $p = 0$.

A Figura 04 apresenta a distribuição vertical da água no subsolo.

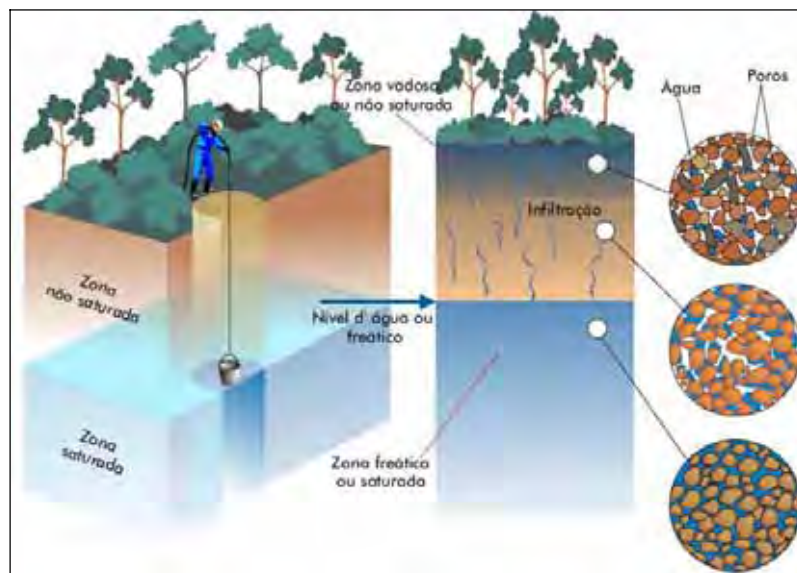


Figura 04: Distribuição de água no subsolo (TOLEDO et al., 2001).

5.5.3.2.1 Escoamento em meios fraturados

Azevedo e Albuquerque Filho (1998) descrevem que, nos meios fraturados, com porosidade essencialmente de fraturas, o escoamento é determinado pela permeabilidade da matriz rochosa e pela condutividade hidráulica das discontinuidades. Em rochas cristalinas,

com baixo grau de porosidade, o escoamento pela matriz é praticamente nulo e as discontinuidades desempenham papel fundamental no escoamento.

Sendo a porosidade matricial, geralmente inferior a 10^{-8} cm/s, a matriz pode ser considerada como impermeável, em comparação com as discontinuidades que, mesmo com aberturas muito pequenas, apresentam valores de condutividade hidráulica significativamente maiores, sendo essas que, efetivamente, controlam o fluxo nos maciços rochosos fraturados (AZEVEDO E ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

Para Azevedo e Albuquerque Filho (1998), normalmente, a passagem da zona de rocha alterada para a rocha sã é relativamente brusca, havendo concomitantemente, uma diminuição significativa na permeabilidade do maciço. Frequentemente, esses maciços são entrecortados por veios de quartzo ou de outros materiais, remobilizados ou não, que conferem, localmente, permeabilidades elevadas ao maciço, favorecendo a penetração da alteração e a ocorrência de elevadas permeabilidades, mesmo a níveis profundos. Horizontes mais argilosos podem resultar em trechos menos permeáveis na zona alterada.

Depreende-se que conhecer as características dos maciços, e particularmente das discontinuidades, é de extrema importância para o estudo da permeabilidade em meios fraturados. Nesses, os principais parâmetros que influenciam o escoamento são (AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998):

- Orientação espacial das famílias de discontinuidades (atitudes);
- Abertura das discontinuidades;
- Espaçamento entre as discontinuidades;
- Rugosidade absoluta das paredes.

A abertura e rugosidade constituem os parâmetros mais importantes para o estudo do escoamento em meios fraturados e a sua determinação pode ser efetuada mediante as leis que governam o fluxo d'água nas fraturas (AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

5.5.4 Aspectos referentes à Geomorfologia

Os aspectos geomorfológicos que podem influenciar na migração de contaminante no meio são: declividade do terreno, forma das vertentes, forma dos vales, formas das bacias de drenagem, além da densidade de drenagem.

Cada aspecto geomorfológico pode ser correlacionado com os aspectos do substrato, já que há uma íntima relação entre as formas de relevo e as coberturas de solo e/ou rochas subjacente.

Um desses aspectos que pode ser destacado é a declividade do terreno, já que este influi no tempo de permanência do óleo na superfície. Outros aspectos como as formas de relevo definem os tipos e formas das bacias hidrográficas, exercendo o controle sobre o óleo na superfície.

As densidades de drenagem devem ser consideradas, pois os dutos podem atingir esses corpos hídricos e, quanto maior a densidade de drenagem no local onde está instalado o duto, maior será o número e a área de drenagem atingida.

As formas das vertentes do relevo também vão influir de forma a determinar a velocidade de escoamento na superfície bem como na forma de dispersão, sendo pontos convergentes ou divergentes do relevo. Isso auxilia na delimitação espacial da migração do contaminante, na área que pode ser potencialmente atingida, e nas formas de mitigação deste impacto, entre outros. A Figura 05 apresenta a classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e de processos superficiais operantes.

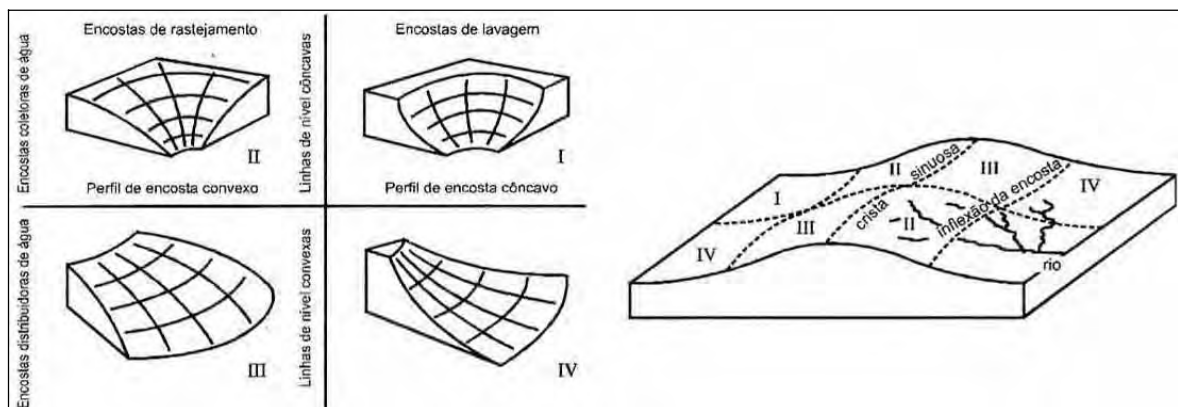


Figura 05: Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e de processos superficiais operantes (MOREIRA e PIRES NETO, 1998).

A Figura 06 ilustra tais perfis, cujas características são as seguintes (VEDOVELLO, 2000):

- Perfil convexo: é típico de formas modeladas a partir de materiais com alterabilidade muito alta, e indica uma velocidade de intemperismo maior que a velocidade de erosão. Essa dinâmica de evolução favorece a formação de mantos de alteração espessos e predominantemente argilosos;

- Perfil convexo-côncavo: é resultante de materiais com alterabilidade alta onde a velocidade de intemperismo é semelhante à velocidade de erosão. As formas de encosta caracterizadas por este tipo de perfil apresentam manto de alteração argilo-arenoso e moderadamente espesso;

- Perfil côncavo: reflete formas onde os processos de modelagem das encostas (intemperismo e erosão) atuam em materiais com alterabilidade média, e onde a velocidade de intemperismo é menor que a velocidade de erosão. O manto de alteração típico apresenta-se pouco espesso e com constituição areno-argilosa;

- Perfil convexo-retilíneo-côncavo: caracteriza encostas onde a velocidade de intemperismo é muito menor do que a velocidade de erosão, e cujos materiais que as constituem apresentam alterabilidade baixa. O manto de alteração, quando presente, é muito pouco espesso (delgado) e sua constituição é predominantemente arenosa.

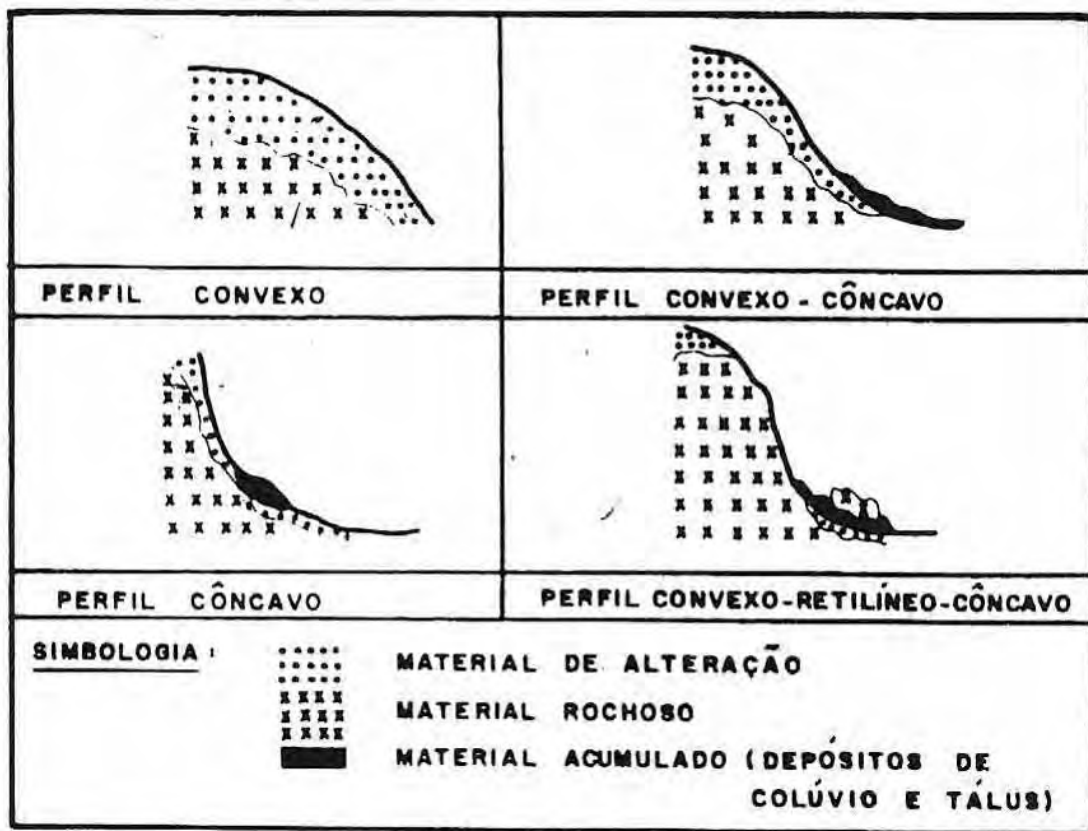


Figura 06: Perfis de encostas típicos (VEDOVELLO, 2000).

6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se entre os municípios de Cubatão, Santos e São Vicente, e parte no município de São Bernardo do Campo. No Apêndice 01 encontra-se um mapa geral composto pelas ortofotos digitais com a delimitação da área de estudo, na escala de 1:50.000.

A presente área de estudo está delimitada pelas seguintes coordenadas do Sistema Universal Transverso de Mercator: 345.211E/7364.000S (canto superior esquerdo) e 369.100E/7345.700S (canto inferior direito), e possui, aproximadamente, 431 km². Corresponde as folhas topográficas de Santos e Riacho Grande, ambas na escala de 1:50.000.

Também se considera o fato de que na área há um complexo industrial voltado para indústria de petróleo, representado pela Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão (RPBC) e suas instalações dutoviárias que ligam São Paulo a Cubatão-Santos, pelo duto denominado Oleoduto Santos – São Paulo (OSSP). Há também uma outra linha dutoviária que liga a refinaria de Cubatão ao Terminal de São Sebastião (TEBAR) denominado Oleoduto São Sebastião (OSBAT). Existem também outras linhas dutovias que ligam as várias indústrias no complexo industrial de Cubatão, que vão desde gasodutos, oleodutos e outros produtos transportados por esses tipos de tubulações.

O sistema rodoviário, atualmente é o principal meio de transporte em utilização o que facilitou e intensificou as interligações da área costeira com o planalto. As principais vias de acesso à Baixada Santista são: as vias Anchieta e Imigrantes (São Paulo a Santos) e a BR-101.

6.1 Aspectos Sócio-econômicos

As atividades urbanas (portuária, comercial, industrial e turística) predominam sobre as rurais em grande parte da Baixada Santista.

Turismo: a expansão da atividade turística impulsiona a especulação imobiliária, em virtude da construção de residências de veraneio que se espalharam por toda a orla litorânea, ao mesmo tempo em que houve adensamento e verticalização em áreas de ocupação mais antiga.

Pesca: é uma atividade extremamente difundida na região e até hoje, complementa as necessidades de subsistência da população, embora se tenha desenvolvido também a pesca empresarial e a instalação de indústrias pesqueiras.

Indústrias: Cubatão destaca-se com o centro de indústrias de bens de produção nos setores siderúrgico, energético e petrolífero. Essas atividades representam risco permanente

tanto para o solo quanto para a água e o ar, afetando todo o ambiente e a qualidade de vida da região (CETESB, 2003).

Além da atividade industrial, devem ser destacadas aquelas geradas pelo Porto de Santos, o maior do Brasil. Diariamente, inúmeros navios carregam e descarregam produtos oriundos de vários países, como matérias-primas e produtos industrializados. Muitos desses produtos são armazenados em tanques e comercializados de acordo com a demanda. Essa atividade de tancagem, juntamente com as demais atividades marítimas realizadas no porto, tornam os acidentes ambientais comuns (derramamento de produtos químicos, por exemplo) (CETESB, 2003).

Tudo isso está associado ao fato de que esses municípios, principalmente Santos, Praia Grande e São Vicente, recebem grande quantidade de banhistas para temporada (por volta de 1 milhão de pessoas) motivados, principalmente, pela proximidade da capital o que facilita o acesso dos “turistas de um dia”, e resultando nos piores índices de balneabilidade do litoral paulista (CETESB, 2003).

Mais da metade dos domicílios da Baixada Santista estão ligados às redes públicas de água e energia elétrica; o acesso à rede telefônica existe em menor proporção, assim como a rede pública de esgoto, sendo que esses serviços são predominantes do município de Santos. Os municípios com Guarujá, Praia Grande e São Vicente buscam melhorar as condições sanitárias.

6.2 Aspectos Bióticos

A cobertura vegetal conserva-se, especialmente nas encostas da Serra do Mar. As reservas mantêm-se, principalmente, nas regiões íngremes de difícil acesso. De modo geral, tem-se a seguintes espécies vegetais na região da Baixada Santista:

Cobertura vegetal natural: florestas e matas são os principais sistemas naturais da zona costeira, representados pelos manguezais, matas de restinga e Mata Atlântica. Esses ecossistemas desempenham papel fundamental na manutenção da qualidade de vida: são estabilizadores climáticos e hidrográficos e protetores do solo, além de serem supridores de matéria-prima para consumo humano.

Mangue: terreno enlameado, baixo, junto à costa e sujeito a constantes inundações, encontrado no litoral dos países tropicais. Também é chamada de *mangue* a vegetação típica existente nesses locais, composta basicamente por arbustos e árvores resistentes à salinidade do terreno e caracterizadas pelas *raízes-escoras* (grossas, que se entrelaçam e sustentam as plantas suspensas). As raízes desse tipo são responsáveis pela captação de oxigênio e pela

estabilidade da vegetação no terreno lodoso. Elas costumam aprisionar sedimentos, deixando o solo mais firme quando seco.

Mata Atlântica: é uma formação vegetal com grande riqueza de espécies, geralmente apresentando três estratos: superior com espécies arbóreas de altura entre 15 a 40 metros; intermediário com alta densidade de espécies, constituído por arbustos, arboretos e árvores de pequeno porte, entre 3 e 10 metros; e um terceiro, composto por grande variedade de ervas rasteiras, cipós, trepadeiras, além de palmeiras e samambaias. A Mata Atlântica abriga grande variedade de espécies da fauna brasileira, como: onça, sagüi de tufo preto, paca, cotia, tucano de bico verde, caxinguelê, mono-carvoeiro, entre outras (PFESP, 2005).

Transição restinga-encosta: é uma vegetação densa com árvores de cerca de 18 m de altura e onde se encontra com freqüência, o palmito e animais de grande porte como macacos bugios e onças. Suas características dependem mais do solo do que do clima. As diferentes situações de drenagem condicionam a formação do mosaico da restinga. Ocorre interligação florística entre as formações da encosta e da restinga e interações de fluxo dos nutrientes entre a restinga e o manguezal. A vegetação de restinga impede que a areia invada o manguezal estabilizando-o. A grande quantidade de bromélias nas restingas equilibra o sistema, por sua capacidade de reter água e nutrientes.

6.3 Aspectos do meio físico

6.3.1 Aspectos Climáticos

A umidade é elevada em toda a zona costeira, com pluviosidade abundante e temperatura elevadas e uniformes, notando-se a ausência de verdadeira estação seca. A umidade relativa constantemente alta, aliada a temperaturas que não atingem extremos, torna possível a existência de extensas formações florestais, encontrando-se formações de mata pluvial tropical ou Mata Atlântica, nas áreas serranas, formações de restinga nas planícies arenosas e manguezais nas zonas estuarinas de Santos.

Devido às próprias características termodinâmicas dessas correntes e ao elevado teor de umidade do ar a elas subordinado, essa circulação tende a dar origem a condições de tempo altamente instáveis. Esse fato é agravado junto ao litoral paulista e à Serra do Mar, principalmente pelo efeito orográfico. As conseqüências desse efeito são os elevados índices pluviométricos, quando comparados às outras regiões do Estado (MONTEIRO, 1973 apud RIBEIRO, 2003).

6.3.2 Hidrografia

Segundo IPT (1986), as principais bacias hidrográficas que drenam a região da Baixada Santista são: rios Itanhaém, Cubatão, Moji, Quilombo e Jurubatuba e Boturora, das quais as três primeiras se desenvolvem nos três grandes compartimentos regionais do relevo, planalto, escarpas serranas e baixada costeiras. As demais drenam apenas os dois últimos compartimentos.

A bacia do Rio Cubatão é formada pelos rios Cubatão de Cima de Pilões e Perequê, que drenam planalto e escarpas, e pelo Rio Cubatão, propriamente dito, que se desenvolve na baixada. O rio Cubatão de Cima apresenta associação de padrões angular e em treliça, governados por juntas N50°-60E (Falha de Cubatão), N00°-10°E e N30°-50°W. Apesar de alta densidade de drenagem desta sub-bacia, seu poder erosivo é atenuado por migmatitos estromatíticos, com paleossomas gnáissico e/ou oftálmico da borda do planalto. Seu vale é assimétrico, com afluentes maiores em sua margem esquerda, que drenam a escarpa da serra (IPT, 1986).

O rio Pilões tem os mesmos padrões e controle que o rio Cubatão de Cima, porém, entalha mais a borda do planalto por se desenvolver em migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante. Esta situação se verifica também no caso do Rio Perequê, cuja sub-bacia, porém, apresenta outro padrão, composto de treliça e subdentrítico (IPT, 1986).

Segundo IPT (1986), a bacia do rio Mogi também se desenvolve ao longo da zona de falha de Cubatão (N50°-60°), e é assimétrica, com afluentes mais desenvolvidos à margem direita. Desses, o mais importante é o Córrego da Onça, que drena pequena porção do planalto, com padrões subdentríticos e de treliça conjugados; sua desembocadura na baixada passa por um estreitamento do vale (soleira) de apenas cerca de 3 m de largura. Maior alargamento de sub-bacias, neste caso, também está associada a substrato de migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso.

A bacia do rio Quilombo apresenta-se alongada, segundo N50°-60°E. Contrariamente aos demais cursos d'água que drenam a escarpa, o Vale do Quilombo tende à simetria, com afluentes bem desenvolvidos em ambas as margens (IPT, 1986).

6.3.3 Aspectos Geológicos

6.3.3.1 Contexto Regional

O embasamento rochoso da área é constituído por rochas metamórficas de idade pré-cambriana, rochas graníticas sin e pós-tectônicas, rochas cataclásticas eopaleozóicas, além de rochas intrusivas mesozóicas. Ocorrem ainda depósitos detríticos cenozóicos das Formações São Paulo e Cananéia, e aluviões subatuais e atuais (IPT, 1986).

O substrato rochoso metamórfico está subdivido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungüi (Proterozóico Superior), constituído pelos complexos Embu e Pilar do Sul, e pelo Complexo Costeiro (Arqueano). Ribeiro (2003) cita que as idades mais antigas do embasamento ígneo-metamórfico da Serra do Mar são atribuídas ao Arqueano (3,8 Ba – Bilhões de anos) e ao Proterozóico (700 Ma – Milhões de anos).

Segundo IPT (1986), essas duas unidades distribuem-se em dois blocos justapostos, delimitados pela zona de falhamento transcorrente de Cubatão, de direção NE-SW que limita a norte o Bloco Juquitiba, onde domina o Grupo Açungüi, e a sul o Bloco Costeiro, onde predominam rochas do Complexo Costeiro (Figura 07).

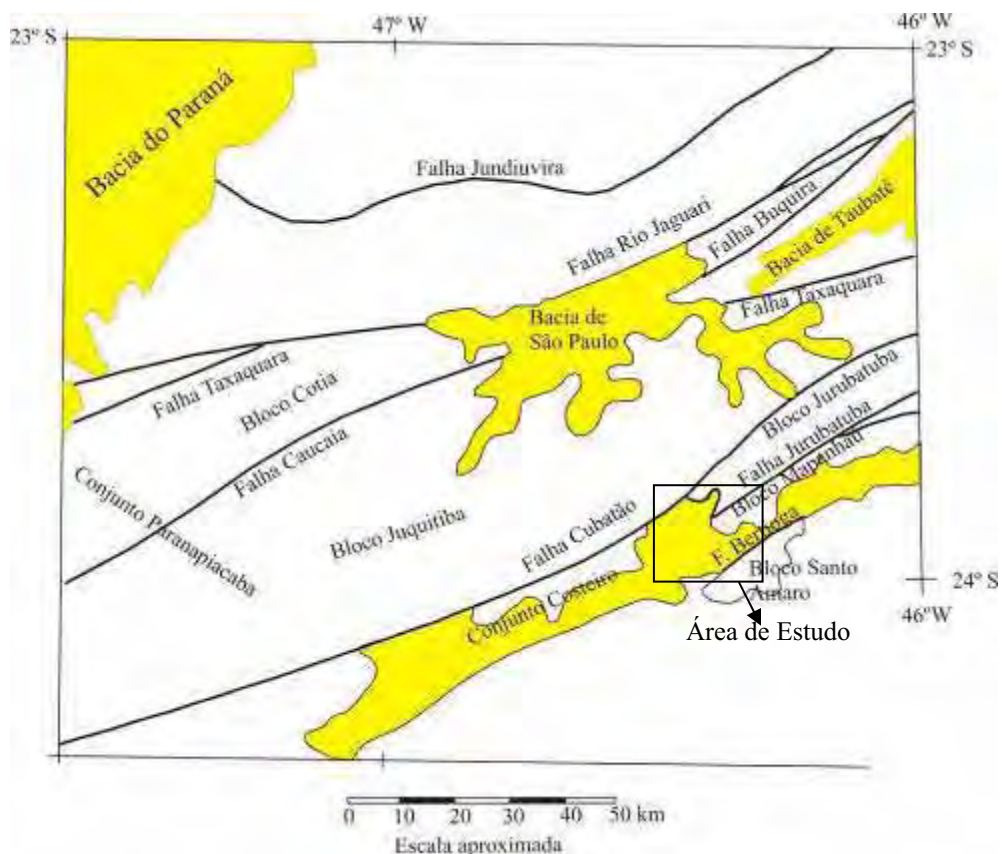


Figura 07: Compartimentação tectônica regional (HASUI e SADOWSKI, 1976).

O Bloco Juquitiba é constituído por ectinitos, representados por rochas calcossilicatadas (P_{SpC}), filitos (P_{SpX}), xistos (P_{SpX}) e quartzitos (P_{SpQ}); migmatitos essencialmente estromatíticos de paleossoma xistoso dominante (P_{SeMc} e P_{SeMn}), com freqüentes sinais de retrometamorfismo; e migmatitos homogêneos com neossoma dominante (AcMn) na forma de núcleos, semelhante às rochas do Complexo Costeiro. Ocorrem ainda neste bloco, de modo restrito, metabasitos (m β), rochas ígneas básicas (JK β), sedimentos (argilitos, arenitos e conglomerados) terciário-quaternários da bacia de São Paulo e sedimentos aluviais atuais e pré-atuais, quaternários (IPT, 1986).

O bloco litorâneo é constituído por migmatitos diversos, com predomínio de estruturas oftalmíticas, ocorrendo, subordinadamente, estruturas estromatíticas, agmatíticas e nebulíticas. Entre os migmatitos foram diferenciados: migmatitos estromatíticos de neossoma dominante álcali-cálcico (AcMb), migmatitos oftálmicos de neossoma dominante álcali-cálcico (AcMp), migmatitos de neossoma dominante alcalino (AcMg), anatexitos (AcMa) e diatexitos (AcMd). Ocorrem, ainda, suítes graníticas (Ps ϵ 0 γ), representadas pelos granitos Pai Matias, Guaperuvu, Caraú, Morrão e Parelheiros, rochas cataclásticas e miloníticas (P ϵ 0M) associadas aos falhamentos transcorrentes de Cubatão, Freires-Jurubatuba e falhas menores, rochas ígneas básicas e ultrabásicas (JK β e JK $\mu\beta$) na forma de diques, sedimentos da Formação Cananéia (Qmc), sedimentos marinhos holocênicos (Qma), sedimentos de origem mista flúvio-lagunares e de baía (Qb), mangues e pântanos atuais (Qp), sedimentos continentais de planície dos rios e do sopé das encostas (Qc) (IPT, op. cit).

6.3.3.2 Aspectos Geológicos dos Sedimentos Cenozóicos

Ribeiro (2003) descreve os seguintes aspectos geológicos dos sedimentos cenozóicos:

- Sedimentos marinhos: Para Suguio e Martin (1976), concluíram que as planícies sedimentares do litoral paulista passaram pelas duas últimas grandes transgressões glácio-eustáticas. Na penúltima grande transgressão (Transgressão Cananéia), o mar entrou em contato com o Embasamento Cristalino em todo o litoral paulista, que apresentava uma morfologia em baías. Areias marinhas litorâneas foram depositadas nas grandes paleobaías, que formavam os sítios das atuais planícies sedimentares de Cananéia-Iguape, Itanhaém, Santos, Bertiooga e Caraguatatuba. Esses depósitos marinhos foram parcialmente destruídos pela drenagem que se estabeleceu nas zonas baixas, durante a última grande regressão marinha. No último episódio transgressivo (Transgressão Santos), o mar penetrou nas zonas baixas estabelecendo um sistema lagunar, com formação de depósitos arenosos que, freqüentemente, era iniciado pela construção de ilhas-barreira, logo após o nível máximo da

transgressão. Essas ilhas barreiras isolaram zonas lagunares, onde se depositaram sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica. Durante as fases regressivas, houve acréscimo de cordões adicionais às primitivas dando origem às extensas planícies de cordões litorâneos.

- Depósitos coluviais: são depósitos de encostas, em que os detritos são transportados por fluxo de massas densas, formados por cascalhos com fragmentos arredondados ou angulosos em matriz areno-silto-argilosa e lamitos. Os fragmentos provêm das rochas que sustentam as encostas. São de dois tipos: o primeiro aparece com espessuras variáveis, chegando a métricas, tendo um alinhamento de seixos basal (seixo de quartzo, quartzito, às vezes canga limonítica e outros materiais) e sotoposto a uma massa areno-argilosa; o segundo tipo, aparentemente menos evoluído, é mais homogêneo, incluindo grânulos, seixos e matacões em matriz areno-argilosa e, por vezes, restos vegetais (HASUI et al., 1994).

- Depósito de tálus: representam acumulações de fragmentos de rochas, de dimensões até métricas, em sopés de elevações mais íngremes, como resultado de processos gravitacionais (Hasui et al. 1994).

- Depósito aluvial: Suguio (1998, apud, RIBEIRO, 2003) define-o como depósito detrítico resultante da sedimentação através de rios atuais, incluindo o depósito de canal fluvial, planície de inundação, leque aluvial e lacustre.

A Formação Cananéia, na região de Itanhaém, constitui depósitos alçados a cerca de 7 a 8 metros, constituídos por areias finas bem selecionadas, coloração marron clara, estrutura maciça. Encontra-se recoberta por dunas de areia esbranquiçada, com altura ao redor de 0,5 m (IPT, 1986).

As areias dos cordões litorâneos holocênicos são também finas, de coloração esbranquiçada, com laminações plano-paralelas, como observadas numa escavação em Praia Grande. Devido à ocupação do litoral, os alinhamentos de cristas desses cordões foram destruídos, restando muito pouco dessas feições (IPT, 1986).

Os sedimentos flúvio-lagunares e de baías foram depositados durante a última transgressão (Transgressão Santos), constituindo-se de areias e argilas ricas em restos vegetais. Geralmente, esses depósitos recobrem antigos depósitos de mangues, associados à Transgressão Cananéia (IPT, 1986).

Ainda segundo IPT (1986) os mangues e pântanos atuais constituem-se de camadas argilosas pretas (vasa), por vezes com dezenas de metros de espessura, contendo freqüentes restos de conchas e vegetais. Intercalam-se camadas e lentes de areia. Na base desses depósitos argilosos têm-se camadas arenosas, que recobrem solo de alteração do embasamento.

Sedimentos continentais fluviais são extremamente arenosos, formando terraços, com níveis basais conglomeráticos, como nas partes baixas dos rios Moji, Quilombo, Cubatão e Branco (IPT, 1986). A Figura 08 apresenta o mapa geológico (IPT, 1986) da área de estudo.

Para a presente área são encontradas as seguintes litologias:

- Bloco Jquitiba: rochas calcossilicatadas (P_{SpC}), filitos (P_{SpX}), xistos (P_{SpX}); migmatitos essencialmente estromatíticos de paleossoma xistoso dominante (P_{SeMc} e P_{SeMn}), com freqüentes sinais de retrometamorfismo; e migmatitos homogêneos com neossoma dominante (AcMn) na forma de núcleos, semelhante às rochas do Complexo Costeiro, aluviais atuais e pré-atuais, quaternários.

- Bloco litorâneo: migmatitos estromatíticos de neossoma dominante álcali-cálcico (AcMb), migmatitos oftálmicos de neossoma dominante álcali-cálcico (AcMp), migmatitos de neossoma dominante alcalino (AcMg), anatexitos (AcMa) e diatexitos (AcMd). Ocorrem ainda suítes graníticas (PsC0γ), rochas cataclásticas e miloníticas (PSC0M) associadas aos falhamentos transcorrentes de Cubatão, Freires-Jurubatuba e falhas menores, rochas ígneas básicas e ultrabásicas (JKβ e JKdμβ) na forma de diques, sedimentos da Formação Cananéia (Qmc), sedimentos marinhos holocênicos (Qma), sedimentos de origem mista flúvio-lagunares e de baía (Qb), mangues e pântanos atuais (Qp), sedimentos continentais de planície dos rios e do sopé das encostas (Qc).

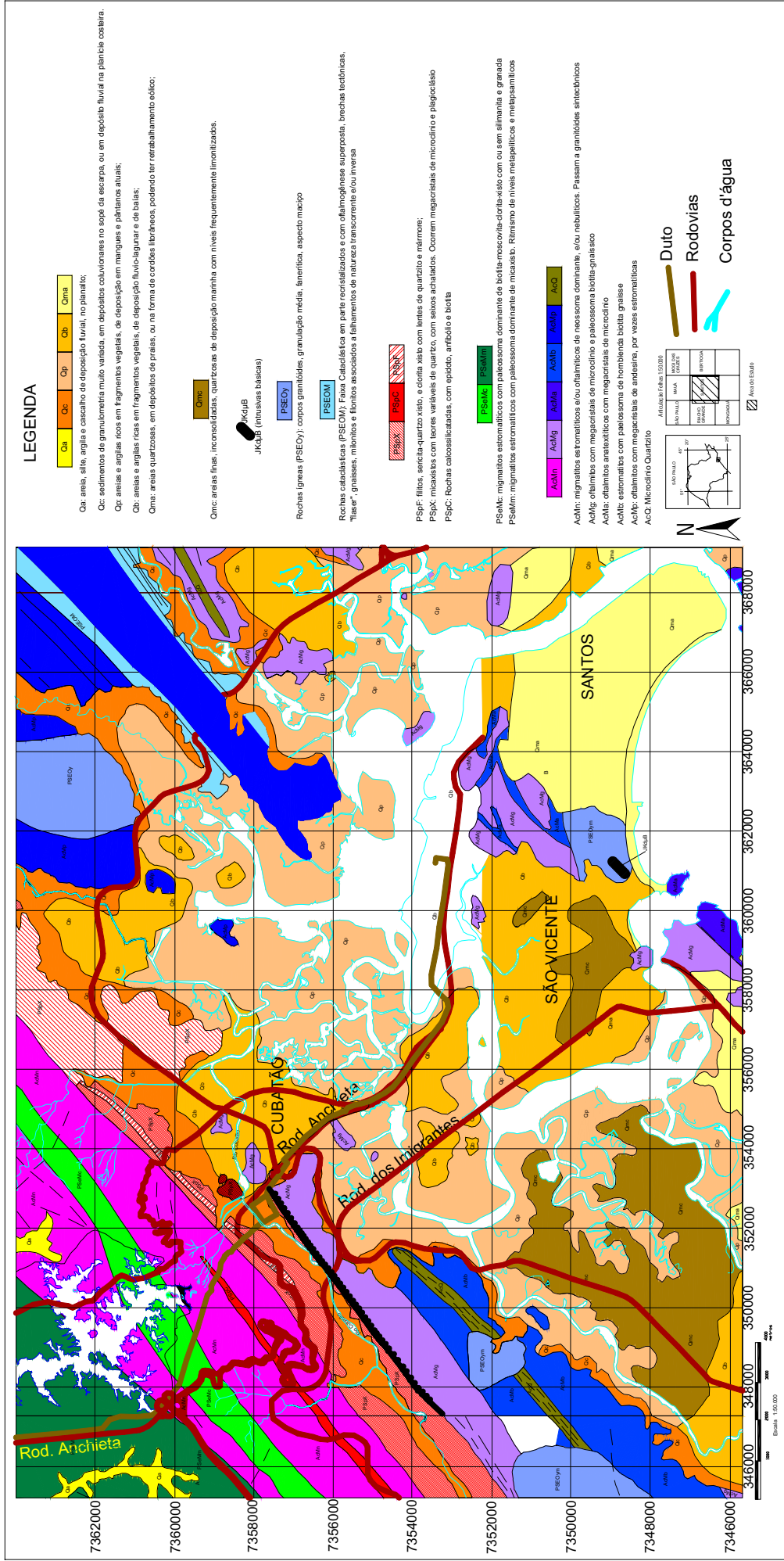


Figura 08: Mapa Geológico da área de estudo (IPT, 1986).

6.3.3.3 Estruturas Geológicas

De acordo com IPT (1986) as estruturas geológicas mais importantes reconhecidas são falhamentos transcorrentes, as foliações de xistosidade e os sistemas de juntas de fraturamento.

Os falhamentos transcorrentes constituem as estruturas maiores reconhecidas, sendo representadas pelas zonas de falha de Cubatão e Freires-Jurubatuba, ambas com direção geral N50-70E e mergulhos variáveis da ordem de 75° a 90°. Associadas a essas zonas, desenvolvem-se faixas de rochas cataclásticas de espessuras variáveis, da ordem de centenas de metros (até 1000 m) (IPT, 1986).

As foliações de xistosidade observadas nos diferentes tipos de rocha mostram também direção predominante N50-70E, apresentando mergulhos variáveis de ordem de 70° a 90° para os quadrantes norte e sul (IPT, 1986).

Ao sul de Riacho Grande, que envolve tanto áreas de planalto como de escarpas, os migmatitos apresentam xistosidades com atitude N60E/80SE (IPT, 1986).

Nos trechos da escarpa serrana, observou-se xistosidades com direção N25E/30NW, para os filitos e N54E/85NW para os xistos calciossilicáticos, enquanto nos migmatitos estromatíticos tem-se valores N70E/70NW e nos migmatitos homogêneos, atitudes N65E/60NW (IPT, 1986).

IPT (op. cit) descreve que os sistemas de juntas de fraturamento mais marcantes são representados pelas direções N50-70E/subvertical a vertical, coincidentes com xistosidade das rochas, e pelos sistemas de N00-30E e N40-60W, ambos com mergulhos subverticais a verticais. Além desses sistemas preferenciais são assinalados outros, porém, com significado local.

Segundo Hasui et al. (1994), haveria o controle da natureza e estrutura das rochas cristalinas da área sobre a escultura do relevo e orientação dos cursos de água, com forte imposição das direções NE-SW e NW-SE no entalhamento das formas. A direção NE-SW é privilegiada nos termos da alteração diferencial, distribuição de tipos de solos, erosão, percolação de água, entalhamento da rede de drenagem e escultura de formas alongadas do relevo.

Hasui et al. (1994) descrevem, ainda, os tipos de estruturas presentes nas rochas pré-cambrianas: (a) o da estrutura regional, de primeira ordem; b) o da estruturação interna de maciços, de ordens maiores e de expressão local, importando analisar seus tipos e padrões de disposição espacial, traduzidos em termos de geometria e seqüenciação; (c) feições que

indicam direções e sentidos de movimentação de massas rochosas na geração das estruturas, procurando resgatar a cinemática e a dinâmica dos deslocamentos tectônicos.

Ribeiro (2003) relata que a estruturação de primeira ordem (os lineamentos Cubatão e Jurubatuba) corresponderia àquela formada por blocos crustais justapostos. As ordens maiores e de expressão local são representadas por estruturas dúcteis como: xistosidade, bandamento composicional e foliação milonítica. A foliação na área tem direção geral em torno de NE-SW, aproximadamente paralela à linha de costa paulista. Os mergulhos maiores relacionam-se com rotações ligadas a zonas de cisalhamento subverticais.

Ribeiro (2003) descreve que os sistemas de juntas (estruturas rúpteis) têm as seguintes famílias: a) altos mergulhos, em geral 4, com disposição longitudinal (direção em torno de NE-SW), transversal (em torno de NW-SE) e duas oblíquos (uma em torno de N-S e outra em torno de E-W) em relação à direção de foliação; b) inclinadas: em geral 2, com direções preferenciais em torno de NE-SW e mergulhos médios e opostos, aparentemente geradas durante processos mesozóicos; c) baixa inclinação: mais ou menos paralela à superfície do terreno, geradas por alívios de carga rochosa pela erosão.

6.3.3.3.1 Zona do Falhamento de Cubatão

Machado Filho (2000) relata para área estudada um sistema de falhamentos designados “Sistemas de Megafalhas de Cubatão-Além Paraíba”, ou “Sistema de Cisalhamento do Sudeste”. Para ele o sistema de Megafalhas Cubatão engloba extensas zonas de cisalhamento subparalelas com direções variando de N50E a N70E e se estende desde o Oceano Atlântico até a borda S-SE do Estado de Minas Gerais, por cerca de 300 km de largura, se englobadas as cunhas de empurrão Socorro-Guaxupé, ou, por 150 km de largura, se for considerada apenas sua extensão até o Falhamento de Jandiuvira, na borda da cunha de Socorro.

Segundo Machado Filho (2000), o sistema Cubatão apresenta uma zona central de falhamento principal, constituída pelo alinhamento de três segmentos de falhas: Lancinha-Itapeúna, Cubatão e Além Paraíba. O comprimento visível no embasamento exposto é de 800 km, admitindo-se que se estenda também sob a Bacia do Paraná por mais 1.300 km, totalizando, portanto, mais de 2.000 km.

Para Ribeiro (2003), o lineamento Cubatão separa dois blocos nitidamente distintos litológica e estruturalmente. Na porção norte ocorre um bloco constituído por ectinitos e migmatitos essencialmente estromatíticos, com freqüentes sinais de retrometamorfismo e paleossomas xistosos. Este bloco corresponde ao Bloco Jucituba. O bloco sul corresponde ao

Bloco Litorâneo ou Costeiro e é composto por migmatitos essencialmente oftalmíticos e de paleossoma de composição gnáissica. Os eixos de dobramento no bloco norte mergulham predominantemente para SW e os do bloco sul para NE.

6.3.3.4 Evolução Tectônica

Os episódios de tectonismo, relatados por Hasui et al. (1994), constituem-se nas seguintes etapas (Quadro 13).

Quadro 13: Etapas da evolução tectônica na região de Cubatão (Segundo HASUI et al., 1994).

Etapas	Descrição
1º	Teria ocorrido em tempos pré-cambriano antigos, em 4 etapas: a) A primeira fase foi de cavalgamento. Os dados da área não permitem deduzir o sentido desse movimento, mas admite-se, com base num quadro macro-regional, que tenha ocorrido de leste para oeste. A ele se deve o desmembramento de litotipos, deslocamento e empilhamentos de lascas, resultando num sistema imbricado de um cinturão compressivo. B) a segunda etapa foi conseqüente da anterior: o bloqueio do empilhamento de lascas fez com que o alívio das tensões passasse a se dar por transcorrente. C) ondulações e formações de juntas com altos mergulhos marcam as duas etapas seguintes, que refletem alívios finais de tensões.
2º	É atribuído ao início do paleozóico (570 Ma), quando ocorrer gerações de intrusões granitóides.
3º	Corresponde à chamada Reativação Sul-Americana ou epirogênese pós-cretácea, que diz respeito aos processos ocorridos no interior do continente por ocasião da abertura do Oceano Atlântico, no intervalo Triássico-Mioceno (220-23 Ma). Esses processos consistiram de movimentos de blocos sob regime tectônico extensional, gerando grandes soerguimentos, alçamentos e abatimentos de blocos por falhas com formação de altos e baixos estruturais, e possibilitando intrusões magmáticas, derrames vulcânicos, sedimentação e delineação dos grandes traços do relevo.
4º	Só recentemente começou a ser investigado e corresponde à neotectônica (Mioceno-Recente). Estudos estruturais têm conduzido à conclusão de que o regime de tensão neotectônico regional envolve eixo de tensão máxima em torno de NW-SE/horizontal, eixo de tensão mínima em torno de NE-SW/horizontal e eixo de tensão intermediário em torno da vertical.

Segundo Hasui et al., (1994), o regime de tensão neotectônico atua em toda a região em níveis acima do normal. Os abalos sísmicos na região Sudeste representam alívios de tensões regionais, de origem natural ou associados a grandes barragens de água.

6.4 Caracterização Geomorfológica

A área de estudo compreende duas províncias geomorfológicas principais: Planalto Atlântico e Província Costeira (ALMEIDA, 1964).

6.4.1 Planalto Atlântico

IPT (1981) descreve o Planalto Atlântico como uma região de terras altas, constituído predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas e cambro-ordovicianas, cortadas por intrusivas básicas e alcalinas mesozóicas-terciárias, e pela cobertura das bacias sedimentares de São Paulo e Taubaté.

Uma das divisões do Planalto Atlântico, segundo IPT (1981), que pode ser destacada é o Planalto Paulistano. Ele é descrito como correspondente a uma área de cerca de 5.000 km² de relevo suavizado, desfeito em morros e espigões divisores de alturas modestas, cujas altitudes, salvo poucas elevações maiores, se encontram entre 715 a 900 m, decrescendo suavemente de sudeste a noroeste. É constituído, em sua maior parte, por filitos, micaxistos, gnaisses e migmatitos de vários tipos, embora pequenas intrusões graníticas sustentem algumas elevações menos discretas em seu interior.

A área de estudo, que constitui uma das subdivisões do Planalto Paulistano, é descrita como Morraria do Embu. Particularmente na região sudoeste de Ribeirão Pires, o relevo aumenta progressivamente sua amplitude a partir das escarpas da Serra do Mar, e a área ocupada pelas suas unidades morfológicas torna-se maior, ou seja, os morrotes e colinas tornam-se mais extensos e dão lugar a morros, quando suas amplitudes ultrapassam uma centena de metros. O padrão de drenagem é mantido, reduzindo-se, contudo o nº de tributários. As altitudes que nivelam os topos sofrem um decréscimo no mesmo sentido, indicando que o nível do assoalho dos vales se aprofunda devido a um maior entalhamento da drenagem (IPT, 1981).

Como observado no mapa do IPT (1981), nesta porção do Planalto Atlântico, para a área de estudo, é encontrada a seguinte forma de relevo:

- **Relevos de Morrotes:** MORROTOS BAIXOS: relevo ondulado, onde predominam amplitudes locais menos que 50 metros. Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão em treliça, vales fechados a abertos, planícies aluviais interiores restritas. Presença eventual de colinas nas cabeceiras dos cursos d'água principais.

6.4.2 Província Costeira

A província costeira definida por Almeida (1964) corresponde à província fisiográfica chamada de litoral por Ab'Saber e Bernardes (1958). Ela corresponde, segundo Almeida (1964) “à área do Estado drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto

Atlântico. É, em maior parte, uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma seqüência de planícies de variadas origens”.

Na região serrana, as escarpas mostram-se abruptas e festonadas, desenvolvendo-se ao longo de anfiteatros sucessivos, separados por espigões. Para compor o desnível da ordem de 800 a 1.200 m entre as bordas do Planalto Atlântico e as Baixadas Litorâneas, a faixa de escarpas apresenta em planta larguras de 3 a 5 km em média (IPT, 1981).

Em IPT (1981a) as planícies litorâneas desenvolvem-se de modo descontínuo, subordinadas às reentrâncias do fronte serrano. Suas extensões são bastante variáveis, razão pela qual tem sido efetuada a separação em dois setores do litoral.

6.4.2.1 Subdivisão da Província Costeira

A província costeira foi dividida em três principais zonas: Serrania Costeira, Morraria Costeira e Baixadas Litorâneas. Segundo ainda mapa do IPT (1981a) para a área de estudo inclui-se relevos da Serrania Costeira e das Baixadas Litorâneas.

A Serrania Costeira foi subdividida em 5 subzonas (IPT, 1981a): a) Serra do Mar, b) Serra de Paranapiacaba, c) Serrania de Itatins, d) Serrania do Ribeira, e) Planaltos Interiores.

Na presente área de estudo encontra-se apenas a sub-zona Serra do Mar.

6.4.2.1.1 Serra do Mar

Almeida (1953) cita que o nome genérico da Serra do Mar é aplicado a um sistema de escarpas e montanhas que, desde o norte do Estado de Santa Catarina até o Estado do Rio de Janeiro, limita a borda oceânica do Planalto Atlântico. Diante da cidade de Santos, esse relevo chega a ser elevar a mais de 1200 m acima do mar, também chamado localmente de serra de Cubatão.

Para Almeida (1953) os grandes desníveis da Serra do Mar poderiam ter sido gerados por acidentes tectônicos, falhamentos ou fortes flexuras. Nesta Serra, de modo geral, acham-se estritamente adaptadas às formas topográficas, à resistência diferencial e disposição dos corpos rochosos que se oferecem à erosão.

Segundo Almeida (1953), a Serra de Cubatão apresenta, como feição curiosa, a forma de “pinças de caranguejo”. O norte oriental é chamado Serra do Mourão, e constitui-se de gnaisses facoidais, de origem migmática, rochas extremamente resistentes à erosão, nas condições locais. No vale do Quilombo, que drena sua vertente sudeste, existe um contato

dessas rochas com os granitos da Serra do Quilombo. A noroeste, esses gnaisses estão em contato, presumidamente por falha, com xistos de pequena resistência à erosão.

Almeida (1953) interpretou o relevo da Serra de Cubatão como resultante de intenso e longo processo de erosão, que levou à perfeita adaptação das superfícies topográficas às diversidades de resistências das rochas. Ter-se-ia iniciado esse processo a partir de uma zona de falhamentos ou de forte flexura, que ainda não foi localizada na região, e que devia estar situada a vários quilômetros além das atuais escarpas da Serra de Cubatão.

Segundo IPT (1981a), são encontradas as seguintes formas de relevo para a Serra do Mar:

- ESCARPAS FESTONADADAS: desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão sub-paralelo a dendrítico, vales fechados;

- ESCARPAS COM ESPIGÕES DIGITADOS: compostas por grandes espigões lineares subparalelos, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão paralelo-pinulado, vales fechados.

6.4.3 Baixadas Litorâneas

Para Ab'Saber (1956, apud IPT, 1981a), constituem Planícies Costeiras Reduzidas e Descontínuas, correspondente à colmatagem flúvio-marinha recente, de antigas indentações dos sopés das escarpas de falha em recuo... No litoral Norte, onde os esporões da Serra do Mar e os pequenos maciços e morros litorâneos isolados atingem diretamente as águas oceânicas, dominam costas altas e jovens, enquanto no litoral sul, enfeixados por extensas praias-barreiras, as planícies litorâneas apresentam maior largura e maiores tratos de terrenos firmes discretamente ondulados.

Almeida (1964) caracteriza os sedimentos costeiros como areias de praias e dunas, argilas e lamas orgânicas dos mangues, e sedimentos detríticos geralmente finos, mas também psefíticos, que a rede de drenagem a arrasta das serras vizinhas para o litoral, onde se acumulam em planícies aluviais, canais fluviais, restingas, praias, lagunas, etc. Para a presente área de estudo, segundo o mapa geomorfológico do IPT (1981a), são encontradas as seguintes formas de relevo:

Relevos de Agradação:

- PLANÍCIES COSTEIRAS: terrenos baixos e mais ou menos planos, próximos ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante, localmente anastomosado. Como formas subordinadas ocorrem cordões (praias, dunas etc.);

Caracterização do meio físico como subsídio à elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental: Ensaio de aplicação em dutovia na Serra do Mar / SP

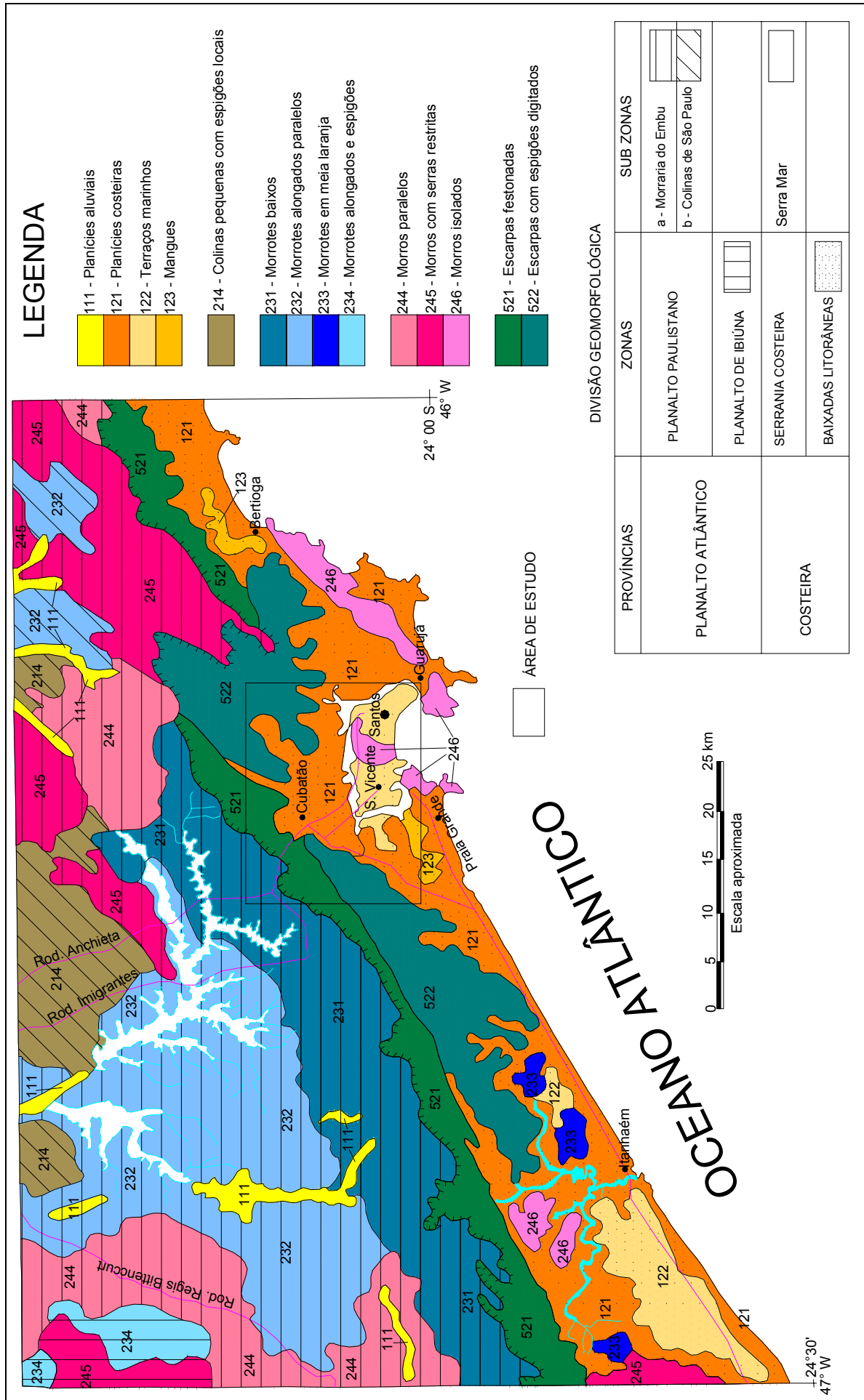


Figura 09: Mapa Geomorfológico regional (IPT, 1986).

- TERRAÇOS MARINHOS: terrenos mais ou menos planos, poucos metros acima das planícies costeiras, com drenagem superficial ausente. Presença de antigos cordões (praias, dunas etc.);

- MANGUES: terrenos baixos, quase horizontais, no nível de oscilação das marés, caracterizados por sedimentos tipo vasa (lama) e vegetação típica. Drenagem com padrão difuso.

Relevos de Morros: - MORROS ISOLADOS: topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados. Ocorrem isolados nas planícies costeiras.

A Figura 09 apresenta o contexto regional da geomorfologia da área de estudo, com base em IPT (1986).

6.4.4 Evolução Geomorfológica

Ab'Saber (1962) estudou a geomorfologia regional da Serra do Mar e do litoral de Santos, estabelecendo duas principais fases de deformação tectônicas na gênese da grande escarpa e dos maciços costeiros:

- Fase 1: caracterizada pela tectônica rúptil que afetou profundamente a região de Santos. Corresponde a uma fase mais antiga do Terciário (Paleoceno/Eoceno), que se manifestou através de um falhamento em linha quebrada, grosso modo paralela ao eixo do atual Canal da Bertioga (NE/SW), infletindo depois em linha quebrada, para NW, à frente dos atuais esporões truncados da Serra do Mourão, para depois retornar à direção NE, à frente da Serra do Cubatão. Assim formou, para oeste, o maciço do Planalto Atlântico e, para leste, houve um rebaixamento irregular em blocos de estruturas antigas.

- Fase 2: corresponde a um período de reativação epirogênica do bloco continental meridional, o que provocou uma forte flexura continental acompanhada de reativação da tectônica rúptil. Esses fatos foram fundamentais para a evolução da faixa atlântica paulista, a leste das escarpas da Serra do Mar, estabelecendo um mergulho irregular das áreas aplainadas neogênicas, no sentido da margem continental em expansão. Nos planos inclinados da superfície neogênica flexurada, estabeleceu-se uma drenagem que a entalhou profundamente. Em outros setores, os cursos de água se adaptaram às linhas de falhas, diáclases e feixes de diáclases tectônicas, dispostas longitudinal ou transversalmente às estruturas antigas do Escudo. Assim, para a área pré-Serra do Mar, formou-se uma rede de drenagem retangular complexa, misto de rede apalachiana e tectônica, a qual, posteriormente, foi afetada pelas ingressões marinhas quaternárias.

Assim, a Serra do Mar, se estivesse ocupando sua posição geográfica atual, não poderia fornecer sedimentos grossos como os conglomerados à Bacia de Santos, pois os mesmo necessitariam percorrer centenas de quilômetros até o sítio deposicional (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

6.5 Aspectos Geotécnicos

6.5.1 Descrição dos tipos de materiais

Vargas (1994) apresenta o perfil de solos residuais de granitos e gnaisses da Serra do Mar e o divide em três camadas principais:

1) Camada superficial de solo residual maduro, com alto índice de vazios e baixo grau de saturação, que vem recebendo a denominação de “solo poroso”; eventualmente essa camada pode ser substituída por uma camada de solo humoso ou por argila ressecada;

2) Solo residual jovem, cuja característica principal é mostrar a estrutura reliquiar da sua “rocha-mãe”, que é, comumente, chamada de saprolito; e

3) Camada de rocha decomposta, a qual, eventualmente, necessita de explosivo para ser removida, e que recobre a rocha granítico-gnaíssica.

Santos (2004) descreve que do ponto de vista da Geologia da Engenharia, são distinguidos os seguintes horizontes nas encostas abruptas da Serra do Mar, descritos no Quadro 14.

Quadro 14: Horizontes nas encosta abruptas da Serra do Mar, do ponto de vista da Geologia de Engenharia (SANTOS, 2004).

Horizonte	Características
Solo superficial	Constitui o horizonte superficial logo abaixo da serapilheira e do solo orgânico. Sua espessura na vertente retilínea varia entre 0,5 e 1,0 m. Pode ser formado por um sub-horizonte superior transportado e por um horizonte residual, ou seja, resultante do intemperismo sobre o maciço original sotoposto. Os solos superficiais apresentam intemperismo e pedogênese mais intensos e portanto uma maior expressão da fração argilosa, sendo por isso mais coesivos. Normalmente apresenta alguns fragmentos de rocha imersos na matriz de finos. É escavável por enxadão.
Solo saprolítico ou solo de alteração de rocha	Trata-se de um horizonte de solos resultantes da atividade intempérica química sobre a rocha matriz, praticamente não submetido a processos pedogenético. Apresenta nítidos vestígios texturais da rocha matriz. Normalmente são silto-arenosos ou areno-siltosos, com fragmentos de rocha e pouca argila. Tem espessura bastante variável, mas nas encostas retilíneas acima de 30° predominam aquelas em torno de 1,0 m. É escavável com enxadão.
Saprolito ou rocha alterada mole	Constitui o horizonte rochoso basicamente formado por blocos de rocha de vários tamanhos, separados por descontinuidades estruturais (diaclasses, fraturas) e por zonas mineralógicas com maior alteração. Há situações onde o saprolito pode apresentar-se mais contínuo com um número menor de descontinuidades. Nas encostas da Serra do Mar, a espessura do saprolito é também bastante variável podendo apresentar-se dentro de uma faixa de um a vários metros. É escavável por picareta e fogacho.
Rocha alterada dura e rocha sã	Trata-se já do maciço rochoso pouco ou nada alterado pelo intemperismo. Escavável unicamente por explosivos.
Solo coluvionares e corpos de tálus	Os corpos coluvionares de meia encosta normalmente apresentam espessuras em torno de 1,0 m e têm composição argilo-silto-arenosa com presença de fragmentos de rocha. Os corpos de tálus podem atingir espessuras de algumas dezenas de metros, sendo invariavelmente constituídos de uma matriz argilo-silto-arenosa que envolve número considerável de fragmentos e blocos de rocha centimétricos a decimétricos. É bastante comum os corpos de tálus apresentarem um lençol d'água próprio suspenso.

A Figura 10 apresenta um perfil típico esquemático de solos em encostas retilíneas de um espigão da Serra do Mar (SANTOS, 2004).

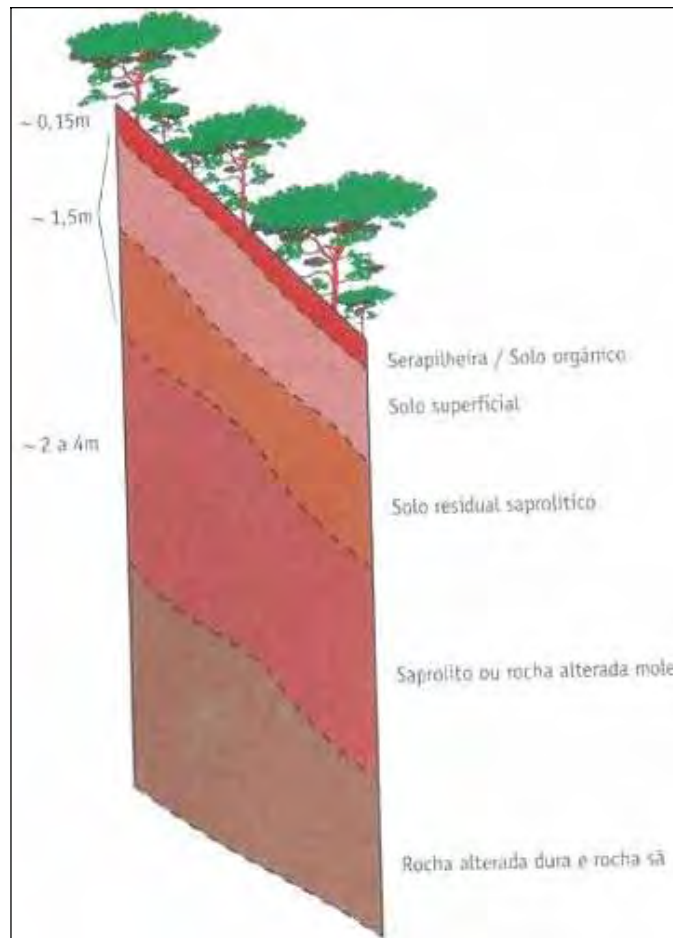


Figura 10: Perfil típico esquemático de solos em encostas retilíneas de um espigão da Serra do Mar (SANTOS, 2004).

6.5.2 Processos geológicos que ocorrem na Serra do Mar e área de Planalto

6.5.2.1 Escorregamentos na Serra do Mar

Os processos de escorregamento são muito importantes já que podem gerar rupturas nos dutos instalados nas encostas da Serra do Mar e são os principais processos que ocorrem nas vertentes da Serra do Mar.

O Quadro 15 apresenta uma classificação do processo de escorregamentos, segundo Augusto Filho (1992).

Santos (2006) descreve que, invariavelmente, todos os anos, na época das chuvas mais intensas, a imprensa brasileira vem à carga com as mesmas notícias trágicas sobre mortes estúpidas e perdas patrimoniais relacionadas a escorregamentos em áreas urbanizadas junto à Serra do Mar.

Quadro 15: Classificação de escorregamentos e processos correlatos (AUGUSTO FILHO, 1992).

RASTEJO (CREEP)	<ul style="list-style-type: none">- vários planos de deslocamento (internos).- velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade.- movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.- solo, depósitos, rocha alterada/fraturada.- geometria indefinida.
ESCORREGA- MENTOS (SLIDES)	<ul style="list-style-type: none">- poucos planos de deslocamento (externos).- velocidades médias (m/h) a altas (m/s).- pequenos a grandes volumes de material.- geometria e materiais variáveis:<ul style="list-style-type: none">PLANARES → solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;CIRCULARES → solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;EM CUNHA → solos e rochas com dois planos de fraqueza.
QUEDAS (FALLS)	<ul style="list-style-type: none">- sem planos de deslocamento.- movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado.- velocidades muito altas (vários m/s).- material rochoso.- pequenos a médios volumes.- geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. ROLAMENTO DE MATAÇÃO; TOMBAMENTO.
CORRIDAS (FLOWS)	<ul style="list-style-type: none">- muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação).- movimento semelhante ao de um líquido viscoso.- desenvolvimento ao longo das drenagens.- velocidades médias a altas.- mobilização de solo, rocha, detritos e água.- grandes volumes de material.- extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Vargas (1999) descreve que os escorregamentos observados na Serra do Mar classificam-se em quatro grupos:

1º) os dos movimentos visco-plásticos lentos, desde os simples rastejos até os movimentos dos “tálus” deflagrados por escavações em seus pés;

2º) os dos escorregamentos ao longo de superfícies bem determinadas de ruptura, desde os deslizamentos planares de camadas superficiais de encostas muito inclinadas até as rupturas rotacionais profundas que se dão preferencialmente nos topos dos morros, onde as espessuras dos solos de alteração de rocha são mais profundas;

3º) os escorregamentos de rocha, desde os deslizamentos de cunhas ou placas de rocha, ao longo de superfícies de fratura ou descontinuidade, até os escorregamentos de maciços rochosos muito fraturados, ou a queda de grandes blocos de rocha; e

4º) as avalanches ou corridas de lama, por completa liquefação de camadas terrosas superficiais ou por grandes massas de lama e blocos de rocha.

Vargas (1999) pretendeu mostrar a correlação patente entre pluviosidade e escorregamentos. De uma forma geral, os escorregamentos são mais prováveis durante ou após chuva violenta, no final da estação chuvosa, pois, nessa ocasião a coesão e o ângulo de atrito interno efetivos reduzem-se a valores mínimos. Além das chuvas, são agentes de instabilização: a destruição da cobertura vegetal devida à poluição da área ou ao desmatamento predatório, e o mau manuseio do solo pelo uso inadequado do terreno das encostas.

IPT (1986) cita que os escorregamentos são processos de ocorrência também generalizada, constituindo-se num fenômeno cuja intensidade e frequência são condicionadas às condições de pluviosidade. Os escorregamentos mais freqüentes resultam, basicamente, da mobilização da cobertura vegetal e do solo superficial de alteração ou coluvionar, esporadicamente, dos horizontes mais profundos de rocha alterada, tratando-se, pois, na sua maior parte, de escorregamentos superficiais do tipo planar, afetando a regiões de solos com espessuras da ordem de 1,0 a 2,0 m, no máximo, envolvendo áreas de poucos metros quadrados. Nos locais de maior espessura de solos podem ocorrer escorregamentos do tipo rotacional de ruptura profunda, envolvendo grande volume de material; contudo, esses fenômenos são restritos e localizados nas porções de sopé das vertentes em área de depósito espesso.

Para IPT (1986), os processos de remoção de detritos de alteração das encostas se dão, basicamente, pela ação de rastejo, escorregamento e queda de blocos, uma vez que a ação de escoamento superficial laminar ou concentrado é dificultada pela cobertura florestal.

O rastejo, fenômeno de movimentação lenta e superficial do solo, está associado à variação de volume do solo sob efeito do calor e da umidade, à ação da gravidade, e ao peso da vegetação que o mesmo suporta. Este processo tem ocorrência generalizada, sendo observado nas unidades morfológicas, com diferentes declividades tanto retilíneas como nas convexas (IPT, 1986).

Os escorregamentos observados na Serra do Mar são de dois tipos: planares ou translacionais que ocorrem nos locais de menor espessura de solo, e rotacionais, que se desenvolvem nos locais de maiores espessuras do manto de alterações e solo. Esses últimos são, porém raros (IPT, 1986).

Os escorregamentos mais freqüentes na Serra resultam, basicamente, da mobilização da cobertura vegetal e do solo superficial de alteração coluvionar, tratando-se de

escorregamentos superficiais do tipo planar ou translacional. As áreas afetadas têm espessuras da ordem de 1,0 a 2,0 m no Planalto, envolvendo áreas de poucos metros quadrados no máximo. Quando da ocorrência de vários escorregamentos contínuos, essas áreas podem, no entanto, atingir milhares de metros quadrados (IPT, 1986).

Abramento e Souza Pinto (1993) descrevem que, de acordo com a classificação do sistema unificado (USCS), esse solo trata-se de areia argilosa-siltosa, com fração fina pouco a medianamente plástica (SC-CL). As curvas granulométricas mostram que o material é constituído, essencialmente, por partículas arenosas, totalizando, aproximadamente, 75% em peso, estando os outros 25% distribuídos entre as frações silte e argila. Relatam também que a macroestrutura porosa destes solos, visível a olho nu, é refletida no seu baixo peso específico aparente natural, ressaltando-se que o teor de umidade é extremamente variável em função das condições climáticas que procederam a extração das amostras, uma vez que este solo apresenta elevado coeficiente de permeabilidade.

Os embasamentos hidrogeotécnicos obtidos em pesquisas realizadas na Serra de Cubatão apontaram os processos de instabilização de taludes detríticos, também em estreita dependência com sistemas de falhas geológicas, fraturas, diáclases e cataclases nos maciços rochosos, determinando uma instabilização dos solos pela dinâmica essencialmente vertical da água de superfície. Salientaram que os escorregamentos mais freqüentes nesta região da Serra do Mar envolvem porções de solo pouco espesso, cujos limites estão associados à variação da permeabilidade do solo, e relacionaram os conhecimentos referentes a impactos ambientais (DOMINGUES, 2001).

6.5.2.2 Processos Erosivos

Os processos erosivos ocorrem, principalmente, devido ao entalhe do relevo pela ação das drenagens localizadas nas vertentes da serra.

Cruz (1990) ressaltou que os processos erosivos podem ser provocados por intrínseca relação entre fatores naturais e antrópicos e que o agente água é o mais forte nessas ocorrências, somado aos processos elementares ligadas a erosão, como o intemperismo.

Domingues (2001) identificou em estudo realizado na Serra do Mar, próximo a Cubatão, 14 tipos de feições erosivas associadas aos escorregamentos na Serra do Cubatão, nas bacias dos rios Mogi e Perequê e atribuiu a grande diversidade de feições às características do meio hidrobiofísico de escarpas e, predominantemente, a uma reação do ambiente natural à ação antrópica predatória direta e indireta.

As áreas fortemente impactadas, isto é, com feições erosivas maiores e mais drásticas, foram localizadas nos compartimentos superiores dessas escarpas. Quanto a alguns setores, o estudo demonstrou a irreversibilidade às condições originais, em vista dos fortes impactos ambientais, por afloramentos rochosos e características aparentes de esterilidade (DOMINGUES, 2001).

Finalmente, os processos erosivos são observados apenas ao longo dos grandes canais de drenagem.

IPT (1986) descreve que a capacidade erosiva das torrentes serranas é atestada também pelo tipo de carga que elas transportam, que inclui detritos grossos de seixos até matacões. A forte ação erosiva das torrentes serranas é responsável também pelo entalhe e recuo da borda do Planalto. Essa ação de entalhe é notadamente mais acentuada quando a drenagem que flui do Planalto corta rochas como migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante, onde se formam grandes anfiteatros.

Nas escarpas serranas as águas pluviais concentram-se rapidamente devido à forte declividade das encostas. Esse escoamento concentrado adquire caráter torrencial com forte capacidade erosiva, o que é evidenciado na área por vales na forma de V, profundamente entalhados, em cujo fundo frequentemente aflora o embasamento. Esses canais de drenagem apresentam forte controle estrutural, estando condicionados pelo sistema de juntas dominantes, conforme se expôs na descrição da hidrografia. Outro efeito freqüente da ação erosiva das torrentes associa-se a processos de solapamento da vertente, que pode ocasionar tanto processos de escorregamentos como queda de blocos (IPT, 1986).

A forte ação erosiva as torrentes serranas é responsável também pelo entalhe e recuo da borda do planalto. Essa ação é, notadamente, mais acentuada quando as drenagens que fluem do Planalto cortam os migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante (PSeMc, PSeMn), do que resultam grandes anfiteatros. Contudo, nota-se que, apesar da magnitude dessas bacias provenientes do Planalto, o desenvolvimento de depósitos de sopé e meia encosta nesses anfiteatros são restritos, o que leva a considerar que a influência dessas grandes bacias é predominantemente de entalhe (IPT, 1986).

Nos morros isolados, com suas vertentes de média e alta declividade, observam-se processos de erosão em sulcos, rastejo e escorregamentos, cujos mecanismos são semelhantes aos observados nas escarpas serranas (IPT, 1986).

6.5.3 Características Geotécnicas dos Sedimentos da Baixada Santista

Massad (1999) descreve que, durante várias décadas, as argilas sedimentares da Baixada Santista foram consideradas como moles, normalmente adensadas. Acreditava-se que elas se formaram num único ciclo de sedimentação contínuo e ininterrupto, sem nenhum processo erosivo.

Massad (1999) cita que, o primeiro, com espessura média de 15 m, era constituído de argilas moles a médias, com entremeação de camadas de areias; o segundo, com 10 m de espessura, muito mais uniforme, era formado de argilas de consistência rija. Abaixo dessa camada inferior ocorriam camadas arenosas, compactas, e algumas lentes de argilas duras.

Massad (1999) descreve que as variações do nível relativo do mar (N.R.M.), durante o Quaternário, constitue o mecanismo principal de formação dos sedimentos marinhos das planícies costeiras brasileiras e que ocorreram, pelo menos, dois ciclos de sedimentação, entremeados por intenso evento erosivo, associados a dois episódios transgressivos, de níveis marinhos mais elevados que o atual, que deram origem a dois tipos de sedimentos argilosos, com propriedades geotécnicas distintas.

As Areias Pleistocênicas e Holocênicas, que afloram na superfície, constituem terraços alçados de alguns metros em relação ao N.M. Dentro de um contexto mais amplo, que envolve toda a Baixada Santista, as argilas marinhas foram classificadas da seguinte forma (MASSAD, 1999):

- a) Argilas de Manguezais, de deposição recente, com SPTs nulos;
- b) Argilas de SFL (Sedimentos Flúvio-Lagunares), que se depositaram no Holoceno, a partir de 7.000 anos atrás, com SPT entre 0 e 2 golpes; são em geral solos levemente sobre-adensados, exceto em locais de ação eólica, como é o caso na Ilha de Santo Amaro; e
- c) ATs (Argilas Transicionais), misto de solos continentais e marinhos, depositados durante o Pleistoceno, e o Holoceno; são solos muito sobre-adensados, com pressões de pré-adensamento que podem atingir valores da ordem de 300 a 500 kPa, e com SPTs acima de 5, podendo atingir 25 golpes ou mais.

6.5.4 Processos atuantes na Baixada Santista

Infanti Junior e Fornasari Filho (1998) descrevem os processos geomorfológicos costeiros como dinâmicos e complexos, compreendendo a ação de agentes que provocam erosão, transporte e deposição de sedimentos, levando a constantes modificações na conformação da zona costeira.

Na zona costeira, aonde a energia potencial da água doce chega a zero, os rios depositam suas cargas de sedimentos (INFANTI JUNIOR e FORNASARI FILHO, 1998). Os mesmos autores relatam que as ondas, dotadas de persistente energia cinética, executam a maior parte do trabalho de modelagem das paisagens costeiras; as marés ampliam o intervalo vertical em que as ondas atuam; as correntes costeiras movem os sedimentos lateralmente ou para alto-mar.

As ondas resultam da ação dos ventos, representando a transferência direta da energia cinética da atmosfera para a superfície oceânica. Quanto maior a velocidade do vento, a sua duração e a extensão da área sob a influência eólica, maiores serão as ondas. As ondas transmitem energia e executam a maior parte do trabalho da esculturação das paisagens costeiras (CHRISTOFOLETTI, 1968).

São identificados os processos relacionados com a dinâmica das ondas, das marés e das correntes marítimas. Esses três componentes, na verdade, compõem fatores hidrodinâmicos que, uma vez atingindo os corpos d'água por vazamento de hidrocarboneto, irão afetar elementos dos ambientes físico, biótico e sócio-econômico. Isso é observado, por exemplo, quando as marés de enchente levam uma pluma de contaminação para o interior do mangue, afetando uma área maior que o previsto, ou as ondas e correntes podem levar a pluma para praias e costões rochosos, abrigados ou não.

Christofoletti (1968) descreve que os processos morfogenéticos atuantes sobre as formas de relevo da costa são controlados por vários fatores ambientais, como o geológico, o climático, o biótico e os fatores oceanográficos. Esses fatores variam de um setor a outro da costa, assim como na escala da variação temporal.

Essa dinâmica reflete na forma dos processos atuantes na região da Baixada Santista, já que há formas de erosão, tanto dos rios que atravessam os materiais recentes, como erosão eólica, com formação e destruição de dunas. O movimento relativo do nível do mar contra os níveis de base, afeta diretamente os processos de erosão e deposição nesse ambientes próximos à linha de costa.

Destaca-se também que, na Baixada Santista, ocorre a presença de solos com baixa capacidade de suporte, também conhecidos como "solos moles". Podem ser encontrados nas planícies fluviais e nas regiões de mangues e pântanos.

Associados a esses tipos de solos, podem ser encontrados materiais orgânicos, que geram a ocorrência de solos corrosivos, um aspecto importante para instalação e operação de dutos nesses locais, já que os dutos devem ser revestidos e protegidos contra a ação corrosiva do ambiente.

7. PRODUTOS GERADOS

Neste item são apresentados os produtos gerados e obtidos com a presente pesquisa. Destaca-se a elaboração do Mapa de Compartimentação de Relevo, Mapa de Área de Influência, Mapa Geológico-geotécnico e Quadro-síntese como produtos principais da presente pesquisa.

7.1 Mapa de Pontos

O mapa de pontos representa as feições topográficas e de drenagens do relevo da área de estudo, além de representar espacialmente a distribuição dos pontos (Apêndice 03). Estes pontos foram plotados na base topográfica na escala de 1:50.000, folhas estas denominadas de “Santos e Riacho Grande”, ambas produzidas pelo IBGE (1984).

7.2 Mapa de Compartimentação do Relevo

O Mapa de Compartimentação de Relevo apresenta 12 Unidades que estão representadas no Apêndice 04.

O Quadro 16 apresenta a correlação entre as Unidades delimitadas e a classificação do IPT (1981a) adotada para a área de estudo.

7.2.1 Zona Planalto Paulistano - Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (PP-01)

Segundo o mapa geomorfológico (IPT, 1981), as formas de relevo encontradas na área do planalto são do tipo Morrotes Baixos. Corresponde a uma região composta por uma textura rugosa na imagem, mas sem grandes variações texturais das ortofotos (Apêndice 04). Esta imagem rugosa apresenta um relevo orientado, com os topos com canais de drenagem que marcam a existência de fraturas por toda a zona. Também existe a presença de canais formados pelo represamento, nos quais há pequenos pontos onde a textura da imagem é bem mais lisa (local sem vegetação).

As bacias possuem caráter erosivo, devido ao forte controle estrutural que apresentam realçando-se o padrão subdendrítrico, de treliça e angular. Os vales na forma de V, os meandros encaixados, a pequena dimensão de planícies aluvionares são algumas características deste relevo.

No que se refere ao tamanho da bacia de drenagem, e sua interferência na escarpa serrana, pode-se considerar que é função da presença de rochas menos resistentes que as drenagens vão entalhar e fazer recuar as escarpas, sendo acentuado na borda do planalto onde

se dá sobre migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante (PSeMc). Quando na borda do planalto ocorrem rochas mais resistentes, como os migmatitos homogêneos e granitóides (AcMn), mesmo que a bacia tenha grandes dimensões, este recuo é bastante reduzido (IPT, 1986).

Quadro 16: Correlação entre as Unidades definidas e a as unidades utilizadas pela classificação do IPT (1981a).

Províncias	Zonas	Sub-zonas	Tipos de Relevo	Unidade de Relevo
Planalto Atlântico	Planalto Paulistano	Morraria do Embu	Morrotos Baixos	Morrotos Baixos do Planalto Paulistano (PP-01)
Província Costeira	Serrania Costeira	Serra do Mar	Escarpas Festonadas	Escarpas Festonadas com forte entalhe do relevo (SC-01)
				Escarpas Festonadas - Bacia do rio Pilões (SC-02)
				Escarpas Festonadas com frente para Baixada Litorânea (SC-03)
			Escarpas com espigões digitados	Escarpa com Espigões Digitados – Vertentes NW (SC-04)
				Escarpa com Espigões Digitados – Vertentes SE (SC-05)
				Escarpas com Espigões Digitados – Porção Nordeste da área (SC-06)
	Baixadas Litorâneas	---	Morros Isolados	Baixada Litorânea – Morros Isolados (BL-01)
			Terraços Marinhos	Baixada Litorânea – Terraços Marinhos (BL-02)
			Planícies Aluvionares	Baixada Litorânea – Planícies Aluvionares (BL-03)
			Mangues	Baixada Litorânea – Mangues (BL-04)
Planícies Costeiras			Baixada Litorânea – Planícies Costeiras (BL-05)	

As encostas são quase totalmente cobertas pela vegetação típica de Mata Atlântica. Próximas às margens dos canais da represa Rio das Pedras são encontradas vegetações rasteiras, como gramíneas e plantas aquáticas e árvores de pequeno a médio porte. Esta diferenciação se reflete nas imagens das ortofotos digitais, em tons de maior ou menor claridade da coloração. As declividades das encostas são menores que 15%, as vertentes são normalmente convexas e de pequenas amplitudes (menores que 30 m).

7.2.2 Zona Serrania Costeira

Nas escarpas da Serra do Mar distinguem-se dois sistemas de relevo Escarpas Festonadas e Escarpas com Espigões Digitados (IPT, 1981a). No presente trabalho essa duas classificações foram divididas em três classes cada uma, devido às características

texturais das imagens e das fotos aéreas, totalizando seis Compartimentos de Relevô (Apêndice 04).

A zona de falhamento de Cubatão, de direção N50-70E constitui-se no principal fator estrutural de condicionamento da evolução das escarpas serranas. Na zona de falhamento de Cubatão ocorrem rochas miloníticas em diversos graus de cataclase, o que lhes confere uma maior susceptibilidade aos processos de entalhe que são também favorecidos pela presença de micaxistos (P_{SpX}), que ocorrem associados à zona de cataclase (IPT, 1986).

IPT (1986) descreve que a presença das rochas cataclásticas e dos xistos, em meio a litologias mais resistentes, permitiu que a rede de drenagem aí se implantasse, desenvolvendo vales profundos e retilíneos, que conferem uma morfologia específica a esse trecho da Serra do Mar, que são as “pinças-de-caranguejo”.

Os sistemas de juntas com maior predominância na área são representados pelos sistemas N50-70E, paralelo à foliação regional, N30-50W e N05-15E. Enquanto o primeiro condiciona o desenvolvimento da frente da escarpa serrana e das drenagens principais os dois outros condicionam o entalhe da drenagem, que corta perpendicularmente a escarpa e, por sua vez, o desenvolvimento dos vales (IPT, 1986).

O padrão dendrítico a subdendrítico, com bacias de terceira e quarta ordens comumente, desenvolvem anfiteatros de erosão com acumulações dendríticas em alvéolos. O padrão de drenagem é subparalelo com bacias de segunda e terceira ordens. Os rios são retilíneos, com interflúvios subparalelos a paralelos. Nessas bacias não se formam anfiteatros e a deposição é restrita ao longo dos vales.

IPT (1986) cita que o desenvolvimento de diferentes padrões de drenagem ao longo da Serra do Mar reflete as diferenças de constituição do embasamento rochoso e a atuação diferenciada dos processos erosivos na morfogênese da escarpa, de tal modo que essas características, hoje, constituem diferenças significativas da morfologia e dinâmica dos diversos setores da Serra do Mar.

A conjugação dos sistemas de juntas com o mergulho dessas rochas, que são predominantemente para o sul, condicionaram o desenvolvimento de vertentes assimétricas nos Espigões Digitados. Assim, as vertentes voltadas para nor-noroeste são estreitas e íngremes, enquanto aquelas voltadas para sul são mais extensas, com declividades mais variadas, alojando grandes anfiteatros (IPT, 1986).

Essa assimetria de relevo, condicionada pelo arranjo estrutural do maciço, faz com que as encostas voltadas para sul tenham uma predisposição natural para formar espessuras maiores de manto de alteração. Isto decorre do fato de que a percolação d'água do maciço se

desenvolve, preferencialmente, no sentido sul, gerando fontes e mananciais que alimentam uma rede de drenagem mais desenvolvida, bem como níveis de alteração mais profundos (IPT, 1986).

7.2.2.1 Escarpas Festonadas com Forte Entalhe do Relevo (SC-01)

Essa Unidade de Relevo está inserida nas Escarpas Festonadas da Serra do Mar (Apêndice 04) e localiza-se no oeste da presente área. Uma característica marcante desta unidade corresponde às drenagens principalmente de 1ª e 2ª ordens, que correspondem aos anfiteatros de nascentes, como por exemplo, dos afluentes do rio Cubatão. As vertentes possuem declividades acima de 30% e amplitudes altas (maiores que 300 m). Possui um grande número de drenagens, já que é caracterizada por conter as nascentes dos canais da Serra do Mar.

São encontrados vales encaixados, em forma de “V”. Em seus interiores há presença de rocha sã ou pouco alterada e blocos de rocha.

Como base geológica estão inserida sobre rochas Migmatitos Homogêneos (AcMn) e Migmatitos com predominância de paleossoma xistoso (PseMn, PseMc).

7.2.2.2 Escarpas Festonadas - Bacia do rio Pilões (SC-02)

Essa Unidade de Relevo está inserida nas Escarpas Festonadas da Serra do Mar (Apêndice 04) e localiza-se entre as Unidades SC-01 e SC-03. Foi definida com base na caracterização da bacia hidrográfica do rio Pilões, já que apresenta destaque quanto considerando a sua textura nas imagens em relação às unidades que estão ao lado (SC-01 e SC-03) e por marcar um ambiente de transição. Localiza-se na porção centro-oeste da área de estudo. A Figura 11 ilustra o leito deste rio no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Itutinga-Pilões - com leito rochoso e muitos fragmentos de rochas.

Apresenta características de relevo, tais como, anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos.



Figura 11: Vista do rio Pilões no qual se nota a grande quantidade de blocos de rocha e fragmentos de rocha em seu leito (Ponto 25).

7.2.2.3 Escarpas Festonadas com Fronte para Baixada Litorânea (SC-03)

Esta Unidade de Relevo corresponde ao restante do fronte da Serra do Mar, uma faixa alongada que tem direção NE-SW (Apêndice 04). São encontradas escarpas festonadas, cujas características apresentam anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Também podem ser observadas drenagens de alta densidade com padrão sub-paralelo a dendrítico e ainda vales fechados. Os canais principais das drenagens têm, em sua grande maioria, direções de NW-SE. A Figura 12 ilustra o relevo típico desta unidade.

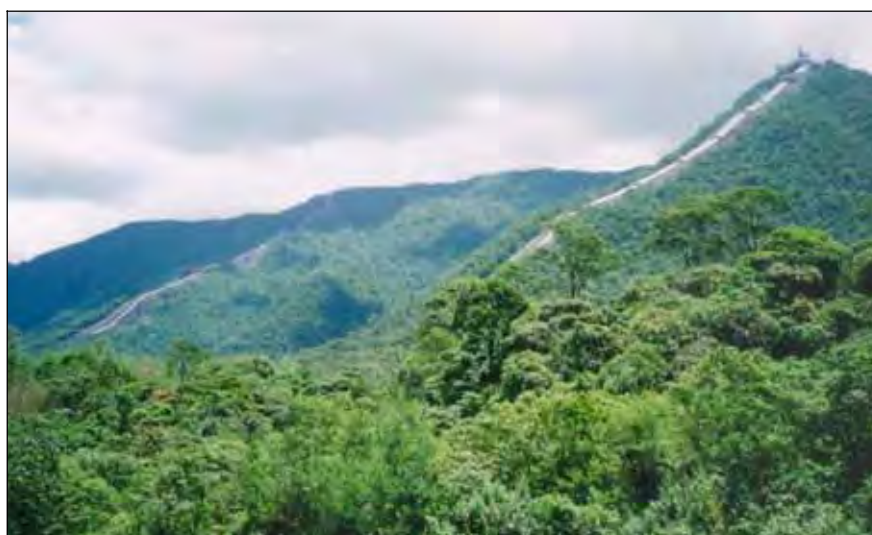


Figura 12: Vista geral do relevo típico da Unidade SC-03 das Escarpas Festonadas. Nota-se a presença dos aquadutos da Henry Borden (mais próximos) e dos oleodutos da Petrobras (mais ao fundo) ambos instalados sobre o topo de espigão (Ponto 07).

7.2.2.4 Escarpa com Espigões Digitados – Vertentes NW (SC-04)

As vertentes da margem direita do rio Cubatão, voltadas para noroeste, apresentam canais de drenagens mais retilinizados, sem presença de anfiteatros de nascentes, e são drenagens com menor extensão, em relação às drenagens da vertente do lado oposto do rio Cubatão, que estão voltadas para sudeste. É encontrada na área com uma faixa alongada NE-SW, ocupando o lado centro-oeste (Apêndice 04).

Segundo IPT (1986), essas formas relacionam-se com as vertentes alongadas que caracterizam-se por não apresentarem interflúvios, ou são incipientes, sendo estreitos e convexos. Bacias de drenagem são, no máximo, de 2ª ordem, no leito ocorrem blocos e matacões. Ocorrem vales em V abertos e localmente encaixados. Possuem declividade em torno de 30-45% e amplitudes locais entre 100-900 m.

7.2.2.5 Escarpa com Espigões Digitados – Vertentes SE (SC-05)

Essa Unidade de Relevo é encontrada na área com uma faixa alongada NE-SW e ocupa do lado centro-oeste e são as vertentes voltadas para os municípios de Santos e São Vicente (lado sudeste – Apêndice 04). Em relação à vertente da margem direita do rio Cubatão, esta possui uma maior rugosidade textural da imagem, com coloração mais escura, e maior entalhe dos canais.

Segundo IPT (1986), corresponde vertentes nas quais há desenvolvimento de grandes anfiteatros, voltados para o mar, com interflúvios bem distanciados entre si, sendo o fundo do vale alargado e com ampla sedimentação aluvionar. Interflúvios têm os topos estreitos, sendo ora agudos, ora convexos, originando-se do grande interflúvio central. Nas porções terminais dominam topos convexos, são afastados, não estrangulando a drenagem. As unidades morfológicas geométricas retilíneas ocorrem, predominantemente, abaixo do interflúvio central e acompanhando os principais interflúvios, onde, nas porções próximas ao sopé, dominam as unidades convexas.

Ressaltam-se as drenagens com padrão dendrítico a subdendrítico, restritamente subparalelo, onde as bacias são de 3ª e 4ª ordens com densidade de drenagem média. Vales em V, encaixados nas cabeceiras, com blocos e matacões no leito são feições encontradas nesta unidade. Os vales tornam-se alargados próximo à baixada e correm sobre depósitos aluviais.

7.2.2.6 Escarpas com Espigões Digitados – Porção Nordeste da área (SC-06)

Esta unidade é encontrada no lado nordeste e leste da área (Apêndice 04). Constitui-se da continuação da Serra do Mar, apresentando relevo rugoso, com canais de drenagens e topos de morros orientados segundo direção principal NE-SW, que acompanha a direção geral da Serra do Mar. Segundo o mapa geomorfológico (IPT, 1981) esta unidade pode ser correlacionada com as Escarpas com Espigões Digitados (Foto 05). Possuem declividades entre 30-45% e amplitudes locais entre 300-650 m, as vertentes estão em anfiteatros, voltados para o mar, com interflúvios bem distanciados entre si, sendo o fundo do vale alargado e com ampla sedimentação aluvionar. Interflúvios têm os topos estreitos, sendo ora agudos, ora convexos, originando-se do grande interflúvio central.

7.2.3. Baixada Litorânea (BL)

Apresentam relevos com textura de imagem lisa, com drenagens sinuosas e muitos canais estuarinos, onde podem ser encontrados tanto depósitos atuais (mangues e praias) como terraços (depósitos mais antigos). A vegetação apresenta-se com variados tons, sendo os mais escuros indicativos de áreas mais úmidas (planícies de inundação das drenagens e o mangue). Também podem ser encontradas feições com uma textura mais rugosa, que são os Morros Isolados que apresentam afloramentos de rochas migmatíticas, gnáissicas, xistosas, graníticas.

A Baixada Litorânea é uma feição típica de agradação, desenvolvendo-se basicamente sobre sedimentos de origem marinha, misto e continental, de idade quaternária. As feições morfológicas aí observadas refletem exclusivamente os diferentes tipos de ambiente de depósitos. Os morros isolados são feições residuais insuladas pelo entalhe fluvial, e posteriormente entulhadas pela sedimentação cenozóica.

IPT (1981) reconheceu na Baixada Litorânea três sistemas de relevo: a Planície Costeira, Terraços Marinhos e Mangues. Além destes três são colocadas também as Planícies Aluvionares, principalmente dos rios Mogi e Cubatão que foram individualizadas.

7.2.3.1 Morros Isolados (BL-01)

São as feições localizadas na planície litorânea de textura rugosa, presença de anfiteatros de nascentes e feições de entalhe nas vertentes. Em relação às planícies, são terrenos de declividades mais acentuadas, maiores amplitudes de relevo e são compostos pelas rochas pré-cambrianas (xistos, migmatitos, gnaisses, granitos, etc).

A Figura 13 apresenta as vertentes destes morros isolados, com afloramentos dos diversos tipos de rochas do cristalino. Essas feições podem ser encontradas em contato com o mar, formando os chamados costões rochosos.



Foto 13: Vista geral do costão rochoso da Ilha Porchat em São Vicente (Morro Isolado - Ponto 17).

7.2.3.2 Baixada Litorânea – Terraços Marinheiros (BL-02)

São terrenos localizados na parte sudoeste da área de estudo, onde são encontradas, nas ortofotos, porções “esbranquiçadas” que correspondem a pontos de possíveis erosões e desmatamentos das vegetações existentes. Segundo a correlação com mapa geológico, esta porção está inserida nos terraços arenosos pleistocênicos (Qmc) e Holocênicos (Qma), que correspondem aos depósitos de praias antigas (Figura 14).

Esses depósitos de areias finas de origem marinha, retrabalhadas em superfície por vento, são correlacionáveis à Formação Cananéia, situados em altitudes de 7 a 9 m. Seus limites são bastante recortados, atestando o caráter de remanescente de ingressões marinhas pleistocênicas.

Também encontram-se depósitos de areias finas, marinhos e holocênicos, correlacionados à Transgressão Santos, margeando a zona marinha, dispostos a cerca 3,5 a 4,5 m acima do nível do mar atual. Associada a esses depósitos observa-se, localmente, a existência de cordões marinhos elevados.



Figura 14: Vista geral da Unidade BL-02, com relevo praticamente plano (Ponto 37).

7.2.3.3 Baixada Litorânea – Planícies Aluviais (BL-03)

São representados pelas planícies aluviais das principais drenagens encontradas na área, principalmente dos rios Cubatão, Moji, Pilões e Perequê. São terrenos planos, de textura lisa e estão associadas aos depósitos recentes desses rios. Podem ser encaixados nas vertentes da escarpa da Serra do Mar (Figura 15).

Estas feições se desenvolvem ao longo dos principais rios que cortam a baixada, sendo resultado do retrabalhamento e acréscimo de material, ao longo da planície de inundação desses rios.



Figura 15: Detalhe da planície aluvionar do rio Perequê (Ponto 04).

7.2.3.4 Baixada Litorânea – Áreas de Mangues (BL-04)

Os mangues correspondem às partes mais lisas da imagem, com coloração em tons de verde mais escuro. Existe a presença de vegetação típica de mangue, e muitos canais de rios que fazem sua desembocadura nessas porções.

Constituem terrenos baixos, no nível da oscilação das marés, caracterizados por sedimentos do tipo vasa, argilas e siltes e vegetação típica. A ocorrência dessas feições é comum na região de Santos, onde se desenvolvem acompanhando o sistema de canais difusos que caracteriza a baixada litorânea. Mostram-se terrenos planos e onde está inserido parte do município de São Vicente e o município de Cubatão.

7.2.3.5 Baixada Litorânea – Planícies Costeiras (BL – 05)

Corresponde à feição plana encontrada na maior porção da Baixadas Litorâneas. Inclui as áreas lagunas e estuários. Com feições típicas das baixadas litorâneas (Figura 16), nas imagens representam as porções com textura lisa, densidade de drenagem relativamente alta devido à grande quantidade de canais encontrados nestas áreas.

Estas feições correspondem aos sedimentos flúvio-lagunares e de baías constituídos por areias finas intercaladas com argilas, que ocupam as porções mais interiores da planície costeira, estando, em muitos locais, em contato direto com o embasamento, ou sendo recobertas por sedimentos de origem fluvial continental mais recentes (IPT, 1986).



Figura 16: Vista geral das Planícies Costeiras de Santos e São Vicente.

7.3 Mapa Geológico-geotécnico

O Mapa geológico-geotécnico foi elaborado com a junção de informações dos mapas de compartimentação do relevo e geológico, perfil de alteração característicos e combinação dos processos geológicos e comportamentos geotécnicos encontrados e esperados. Esta união gerou a criação de 15 Unidades Geológico-geotécnicas apresentadas no Apêndice 05.

Os processos geológicos e comportamentos geotécnicos associados estão inseridos na descrição de cada Unidade Geológico-geotécnica definida (Quadro 17).

Quadro 17: Correlação entre as unidades de relevo e as unidades Geológico-geotécnicas.

Províncias	Zonas	Sub-zonas	Tipos de Relevo	Unidade de Relevo	Unidades Geológico-Geotécnicas		
Planalto Atlântico	Planalto Paulista	Morraria do Embu	Morrotes Baixos	Morrotes Baixo do Planalto Paulista (PP-01)	Migmatitos Homogêneos em Morrotes Baixos do Planalto Paulista (UGG-01)		
				Escarpas Festonadas com forte entalhe do relevo (SC-01)	Migmatitos de Paleossoma Xistoso em Morrotes Baixos (UGG-02)		
				Escarpas Festonadas (Bacia do rio Piões SC-02)	Planícies Aluvionares no Planalto Paulista (UGG-03)		
Província Costeira	Serrania Costeira	Serra do Mar	Escarpas Festonadas	Escarpas Festonadas com frente para Baixada Litorânea (SC-03)	Migmatitos Homogêneos em Escarpas Festonadas e Espigões Digitados (UGG-04)		
				Escarpa com espigões digitados – Vertente NW (SC-04)		Migmatitos de Paleossoma Xistoso, Micaxisto e Filitos em Escarpas Festonadas e Espigões Digitados (UGG-05)	
				Escarpa com espigões digitados – Vertente SE (SC-05)			
				Escarpas com espigões digitados – Porção Nordeste da área (SC-06)			Granitos em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-06)
				Baixada Litorânea – Morros Isolados (BL-01)			Quartzitos em Escarpa com Espigões (UGG-07)
Escarpas com espigões digitados – Porção Nordeste da área (SC-06)	Cataclastos em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-08)						
Província Costeira	Baixadas Litorâneas	---	Morros Isolados	Baixada Litorânea – Morros Isolados (BL-01)	Depósito de Tálus (UGG-09)		
				Terraços Marinheiros	Morros Isolados (UGG-10)		
				Planícies Aluvionares	Terraços Marinheiros Pleistocênicos (UGG-11)		
				Manguezais	Terraços Marinheiros Holocênicos (UGG-12)		
				Planícies Costeiras	Planícies Aluvionares (UGG-13)		
				Manguezais (UGG-14)	Planícies Costeiras (UGG-15)		

7.3.1 Unidades Geológico-geotécnicas no Planalto Paulistano

O embasamento rochoso que suporta os relevos no Planalto é constituído por rochas metamórficas do Arqueano e do Proterozóico Superior. Segundo IPT (1986), os solos de alteração dessas rochas têm composição argilo-silto-arenosa com grânulos de quartzo, feldspato alterado e micas, cujas proporções variam em função do grau de migmatização da rocha subjacente, que interfere na maior ou menor quantidade de quartzo e feldspatos disponíveis. Recobrimo solos e horizontes de alteração, é freqüente a presença de cobertura coluvionar areno-argilosa.

As rochas tipo migmatitos estromatíticos (PSeMc) e (PSeMn), com predominância de paleossoma xistoso, condiciona a formação de solos de alteração argilosos cuja porcentagem de silte e areia é função das intercalações psamíticas e pelíticas, bem como do grau de feldspatização, que é bastante variável. Nesta área, as rochas têm, de modo geral, solos superficiais com espessuras inferiores a 0,5 m, enquanto que o horizonte de alteração é bastante desenvolvido, atingindo dezenas de metros (IPT, 1986).

Machado Filho (2000) descreve as seguintes direções de fraturas e foliações:

- Área de planalto: duas direções: N50-60 e N140-150;
- Área de serra e do vale do Cubatão: N50-60 (principal) e N130-150 (secundária).
- A direção N50-60 proeminente corresponde à direção da foliação de transposição ondulada.

Machado Filho (2000) descreve as seguintes medidas para juntas e foliações na parte do Planalto Paulistano coletadas em diversos pontos:

- Planos de Juntas – Família Principal: N132/86NE, N60/82NW; Famílias Secundárias: N85/41SE, N155/57NE, N16/50NW, N125/80NE, N170/28NE; Foliação média: N20/50NW e N55/80NW.

Segundo IPT (1986), no Planalto as estruturas mais marcantes são a xistosidade e os sistemas de juntas, não se reconhecendo na área a presença de falhas. O principal sistema de juntas que ocorre na área, e de persistência regional, tem direção N60-70E/subvertical, paralelo à xistosidade dos migmatitos com atitude N60E/70-80SE. Outros sistemas de juntas bem marcados são os de direções N20-40W/subvertical e N00-15E. Ao longo das juntas de direção N60-70E se estabeleceram os canais principais com trechos retilíneos e extensos, enquanto que os sistemas N00-15E/N20-40W condicionam as drenagens de primeira ordem.

De acordo com essa distinção entre os produtos de alteração entre migmatitos (AcMn) e os migmatitos estromatíticos de paleossoma dominante (PSeMc e PSeMn) a Zona do Planalto Paulistano foi dividido em duas Unidades Geológico-geotécnicas (Unidades UGG-01

e UGG-02). Também de acordo com o mapa geológico são encontrados depósitos aluvionares sobre a área de planalto (UGG-03).

7.3.1.1 Migmatitos Homogêneos em Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (UGG-01)

Pequena faixa alongada de direção NE-SW de afloramentos de Migmatitos (AcMn). Apresenta solos com espessura variando de 1,0 a 10,0 m, de composição areno-argilosa, de coloração amarelada, por vezes avermelhada e até amarronzada. Podem ter uma cobertura de solo coluvionar de constituição predominantemente argilosa, que varia de 2 a 8 metros. Podem apresentar concreções ferruginosas, na forma de crostas limoníticas centimétricas distribuídas em vários níveis de profundidade, geralmente, ocorre uma camada de seixos que marca a base deste tipo de depósito (IPT, 1986). O perfil de solo dos migmatitos homogêneos do planalto pode ser visualizado na Figura 17.

Nesta unidade são encontradas fraturas e juntas, que são muito evidentes nas drenagens, que apresentam direções principais NE-SW.

Nesta faixa de afloramento destes migmatitos contém áreas que estão próximas aos braços d'água da represa Rio das Pedras. Nestes locais o nível d'água pode estar mais próximo da superfície e conseqüentemente, uma tubulação enterrada a poucas profundidades está suscetível a variação do N.A. o que pode ser prejudicial ao duto.

Como processos destacam-se as erosões provocadas pelos canais de drenagem que vão esculpindo as vertentes, e movimentos de massa (rastejo e de solo) que ocorrem nas vertentes das colinas e morros e nos taludes das estradas.

As drenagens que ali se instalam vão formando seus canais nas zonas de fraqueza das rochas, sendo encontrados afloramento de rocha sã nos leitos das drenagens, principalmente nas vertentes.

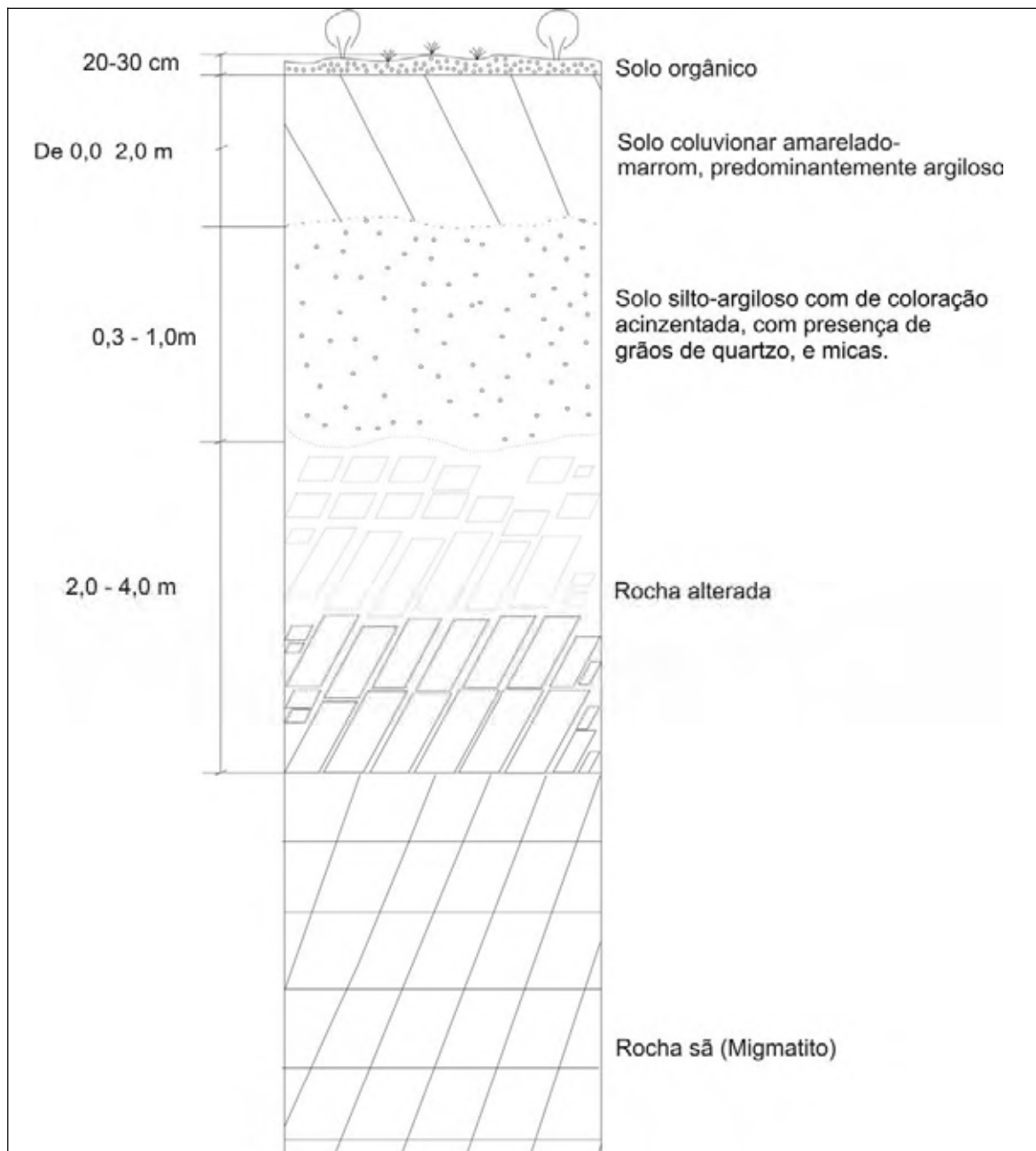


Figura 17: Perfil de alteração para as rochas migmatíticas (AcMg) do planalto.

7.3.1.2 Migmatitos de Paleossoma Xistoso em Morrotes Baixos do Planalto Paulistano (UGG-02)

Corresponde à Unidade cujas rochas sobrejacentes são migmatitos estromatítico de paleossoma xistoso dominante.

As formas de relevo também se apresentam mais entalhada nas vertentes, formando então amplitude de relevo maiores. Possui relevo de colinas suaves por toda área do planalto, densidade de drenagem alta. O padrão de drenagem é dentrítico a subdentrítico, onde as orientações das fraturas/juntas correspondem às mesmas definidas para todo o compartimento planalto.

Nas áreas onde o duto está instalado que ficam próxima aos braços da represa, por possuírem N.A. relativamente mais raso, podem ser classificadas como áreas que estão suscetíveis à ocorrência de processos corrosivos.

O solo coluvionar, de coloração amarelo-creme, com espessura inferior a 2,0 m é encontrado sobre as vertentes no planalto. Nas encostas podem ser encontrados vestígios de rastejo, como tronco de árvores tortas (Figura 18).



Figura 18: Vista de perfil de alteração com cobertura coluvionar. Nota-se que a árvore no centro da foto evidencia ocorrência de rastejo (Ponto 36).

No Ponto 38 na estrada de acesso para a sede do Parque Estadual da Serra do Mar pode ser encontrado um talude de corte onde se observa o perfil de solo de alteração de migmatito. Apresenta-se com uma coloração marrom-amarelada a creme, com espessura de, aproximadamente, 2,5 a 5,0 m, com textura areno-argilosa.

O perfil de alteração para esses migmatitos de paleossoma xistoso dominante é ilustrado na Figura 19.

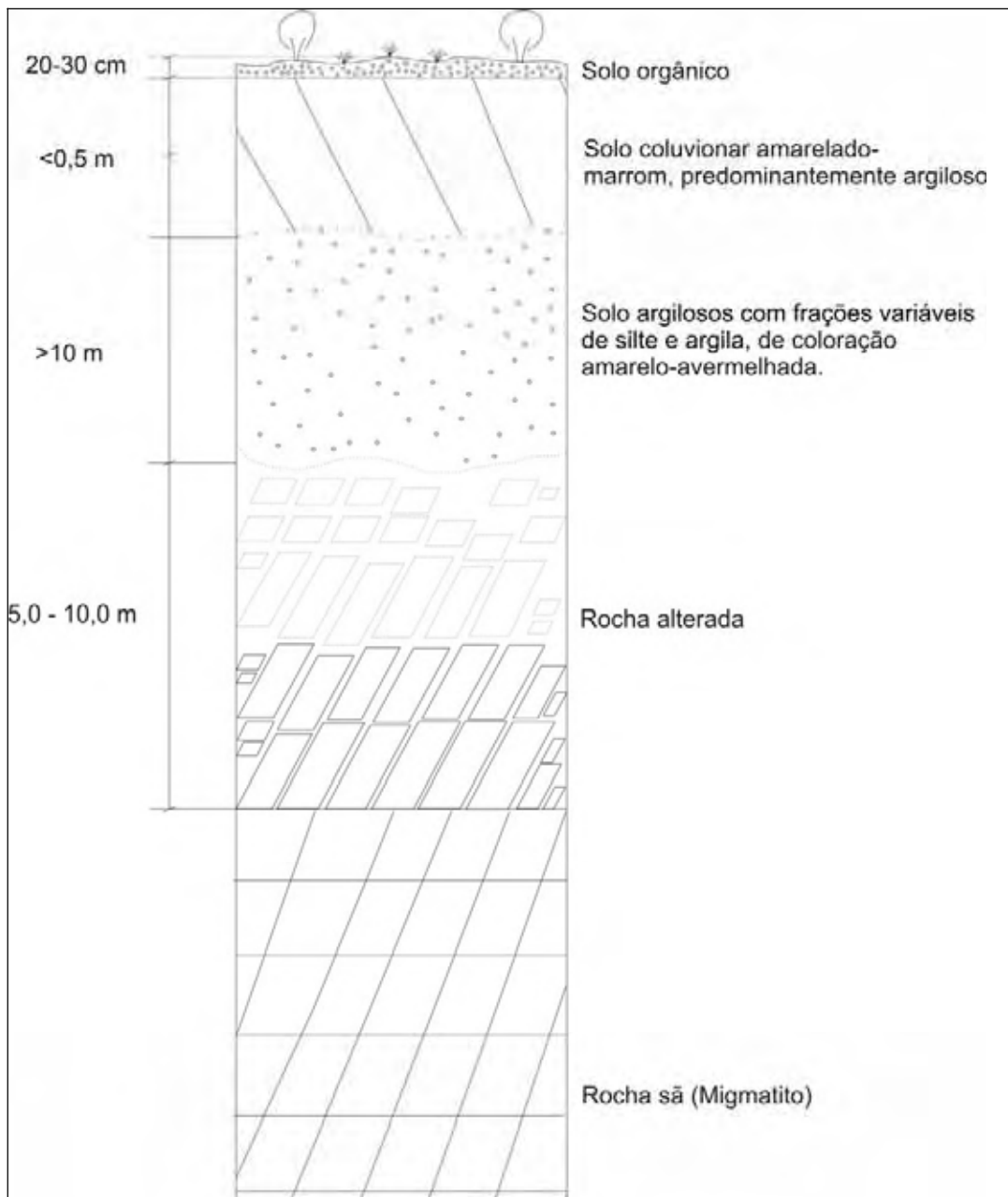


Figura 19: Perfil de alteração para as rochas migmatíticas de paleossoma xistoso (PSeMc e PSeMn) encontrados no planalto.

7.3.1.3 Planícies Aluviais em Área de Planalto (UGG-03)

Essas planícies aluviais encontradas na área do planalto foram delimitadas segundo ocorrência encontrada no mapa geológico. São compostas por sedimentos arenoso e argiloso, ocupando as áreas próximas às drenagens e encaixadas nos vales do planalto. São áreas que podem apresentar presença de solos moles, nível d'água próximo da superfície (<2,0 m), e podem conter matéria orgânica associada.

A planície aluvial desenvolve-se ao longo dos principais rios nas suas porções mais próximas das encostas. Por constituírem-se de sedimentos retrabalhados dos terraços fluviais,

fica difícil a sua separação, tanto composicional como morfológica, que só é evidenciada quando do entalhe acentuado dos depósitos do terraço.

Os terraços fluviais são feições comuns na área da baixada e têm seu maior desenvolvimento ao longo dos vales dos principais rios, quando atingem a baixada, próximos às encostas. Os rios atuais entalham em cerca de 0,5 até 4,0 m esses sedimentos, mostrando a constituição, predominantemente, rudácea desses depósitos, os quais apresentam ainda intercalações de areias médias a grossas, micáceas. Localmente, intercalados a esses sedimentos, observa-se níveis de argila plástica, de cor preta, rica em restos vegetais, de origem mista, que caracterizam as oscilações do nível do mar na área, mostrando uma interdigitação dos sistemas deposicionais. Esses depósitos, lateralmente, interdigitam-se com depósitos de sopé da encosta, evidenciando a complexidade desses ambientes deposicionais (IPT, 1986).

O perfil de alteração esperado para estes aluviões ou planícies aluvionares é apresentado na Figura 20.

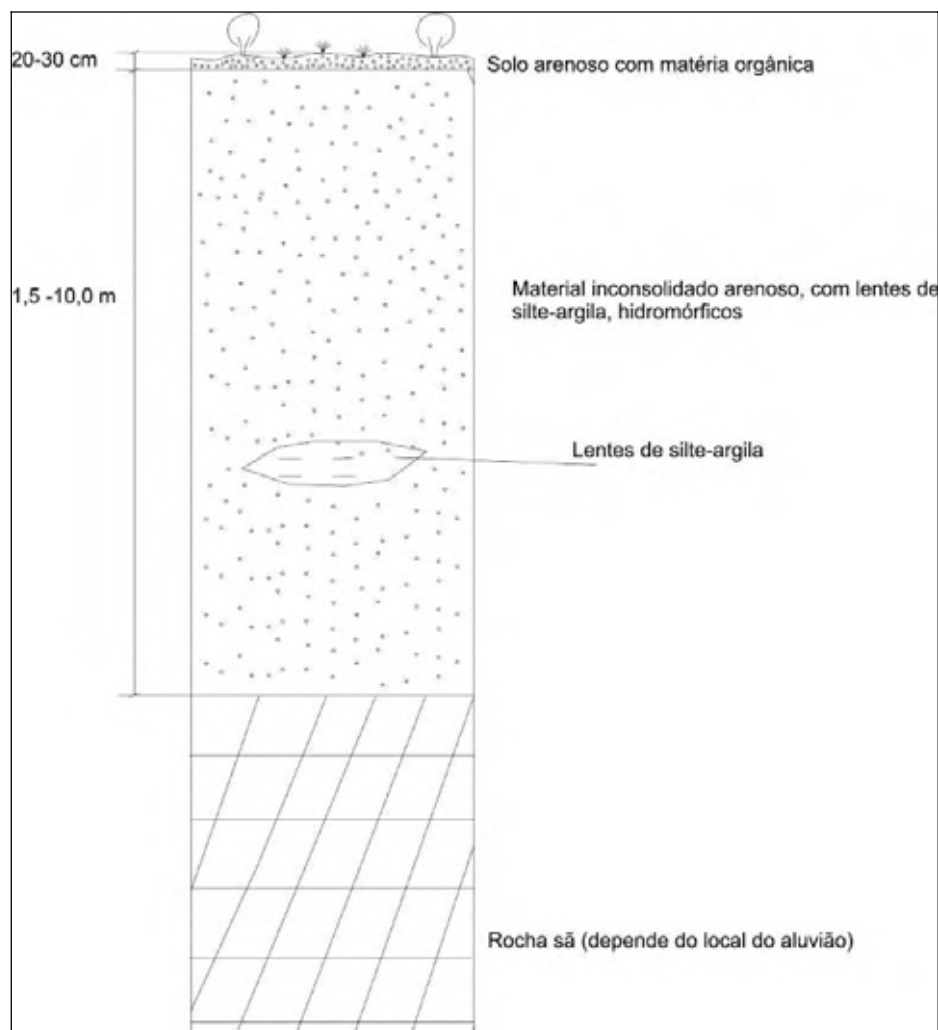


Figura 20: Perfil de alteração para os depósitos aluviais.

7.3.2 Unidades Geológico-geotécnicas da Serrania Costeira

Na Serrania Costeira são encontrados Relevos Montanhosos (serras alongadas, montanhas isoladas, montanhas com vales profundos) onde predominam amplitudes locais acima de 300 m e declividade de encostas superiores a 15% e relevo de transição (escarpas festonadas, escarpas com espigões digitados), nos quais predominam amplitudes maiores que 100 m e declividades de encostas superiores a 30%. Possui solo superficial (depósitos coluvionares) e solo de alteração de composição granulométrica variável com o tipo da rocha de origem. Possui espessura variável em função de declividade das encostas, chegando a ausentar-se nas áreas mais íngremes (declividades >45%) expondo a rocha.

A influência litoestrutural da Serra do Mar é condicionada pelas rochas da zona de falha de Cubatão que, juntamente com as rochas xistosas e aos migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante, são menos resistente à erosão que os migmatitos homogêneos, migmatitos ofthalmíticos de paleossoma gnáissico, rochas graníticas, granitóides e milonitos/cataclasitos.

IPT (1986) descreve que a conjugação dos sistemas de juntas com o mergulho dessas rochas, que são predominantemente para sul, condicionaram o desenvolvimento de vertentes assimétricas nos Espigões Digitados. Assim, as vertentes voltadas para nor-noroeste são estreitas e íngremes, enquanto aquelas voltadas para sul são mais extensas, declividades mais variadas, alojando grandes anfiteatros.

Esta assimetria de relevo, condicionada pelo arranjo estrutural do maciço, faz com que as encostas voltadas para sul tenham uma predisposição natural para formar espessuras maiores de manto de alteração. Isto decorre do fato de que a percolação d'água do maciço se desenvolve, preferencialmente, no sentido sul, gerando fontes e mananciais que alimentam uma rede de drenagem mais desenvolvida, bem como níveis de alteração mais profundos.

Machado Filho (2000) descreve as seguintes medidas para juntas e foliações na parte da Serra do Mar coletadas em diversos pontos:

Planos de Juntas – Famílias Principais: N45/86NW, N68/28SE, N45/76NW, N50/75NW, N115/82SW; Famílias Secundárias: N146/87NE, N20/36SE, N125/84NE, N135/50NE, N22/36SE, N85/37SE; Foliação média: N50/85NW, N75/72NW, N50/80NW.

O horizonte de alteração dessas rochas é irregular, sendo condicionado pela assimetria do relevo. As espessuras variam de 1 a 10 m, sendo mais freqüentes espessuras inferiores a 2,0 m. Os produtos de alteração dessas rochas formam solos residuais de composição argilo-silto-arenosa, variando em função do maior ou menor grau de migmatização e granitização das rochas. Em meio ao material superficial de alteração é freqüente a ocorrência de blocos de

rochas, angulosos, com dimensões centimétricas a decimétricas.

Disseminada pelas encostas observa-se também a presença de cobertura coluvionar de constituição silto-argilosa, com espessuras de 1,0 a 4,0 metros. As variações de espessuras da alteração e dos colúvios são devido a sua posição na encosta, bem como à presença de irregularidades e saliências do embasamento (IPT, 1986).

O fluxo d'água nos horizontes superficiais dessas encostas é essencialmente vertical, produzido pela infiltração das águas de chuva, com os horizontes inferiores, de saprolito e rocha alterada muito fraturada, funcionando como drenos que absorvem todo o fluxo infiltrado (Wolle e Carvalho, 1989).

7.3.2.1 Migmatitos Homogêneos em Escarpas Festonadas e Escarpas com Espigões Digitados (UGG-04)

Os principais pontos de campo em que são encontrados afloramentos na serra correspondem aos taludes de corte da Estrada Velha de Santos ou Caminho do Mar. Também podem ser encontradas exposições de rocha sã nos leitos das drenagens. Neste percurso pode-se observar que o solo é pouco profundo (espessuras menores que 2,0 m) e em alguns locais há presença de rocha alterada ou parcialmente alterada (Figura 21).

Nesta estrada foi observado o perfil de solo para este migmatito (Pontos 28 a 32, Figura 22). São locais onde as vertentes possuem declividades superiores a 45%, com muitos anfiteatros de nascentes instalados, alta densidade de drenagem, forte entalhe nas vertentes retilíneas, presença de rochas nas drenagens e presença muitas vezes de blocos de rochas no interior destas drenagens.

Na serra são encontrados divisores de água bem definidos, vertentes retilíneas com declividades superiores a 45°. Estas características do relevo são importantes por se entender que, no caso de vazamento de óleo, vão representar pontos de divergência ou convergência do escoamento superficial.

Estas características encontradas favorecem a migração do óleo, seja pela superfície nos canais de drenagens, seja sobre subsuperfície, principalmente no contato entre o solo de alteração com as rochas alteradas, já que foram planos por onde a água tende a migrar.

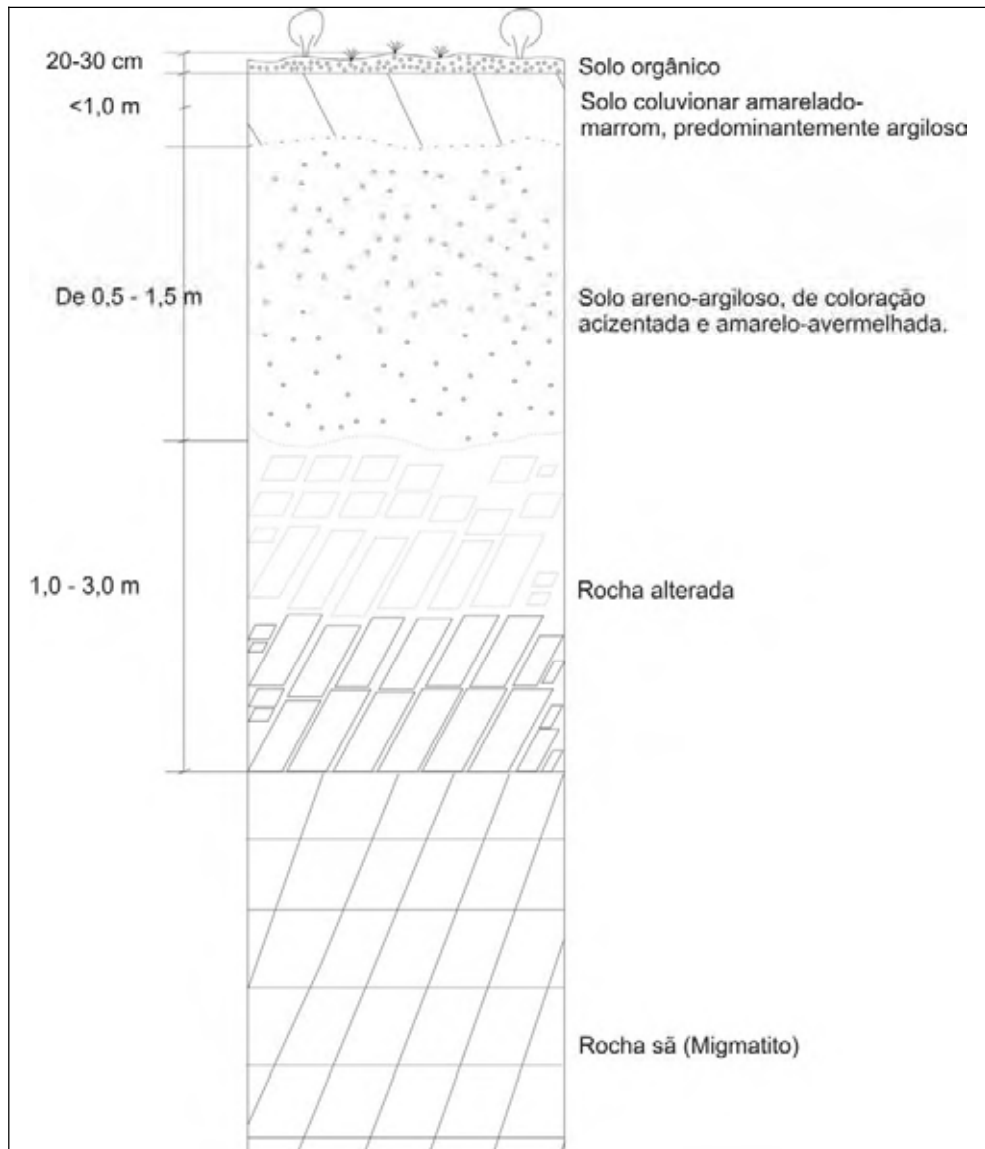


Figura 21: Perfil de alteração para os migmatitos nas áreas da Serra do Mar.



Figura 22: Detalhe dos migmatitos alterados encontrados ao longo do Caminho do Mar (Ponto 28).

Neste trecho está instalado o duto da Petrobras que fica sobre a superfície da escarpa da serra, mais precisamente sobre um divisor de águas (topo de um espigão).

Os processos mais evidentes encontrados nesta unidade são: entalhe erosivo nas vertentes, e escorregamentos de solos, rastejos e queda de blocos. Estes processos podem provocar avarias nos dutos, caso venham a ocorrer em áreas próximas onde estão assentadas as tubulações.

Os entalhes erosivos ocorrem nas vertentes da escarpa e são representados pelos canais de drenagens, sejam eles perenes ou intermitentes. Os vales encaixados e de amplitude de relevo acima de 300 m evidenciam o forte entalhamento do relevo.

7.3.2.2 Migmatitos de Paleossoma Xistoso, Micaxisto e Filitos em Escarpas Festonadas e em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-05).

Os migmatitos com paleossoma xistoso estão nas partes mais altas dos anfiteatros formados a partir da erosão e entalhe das vertentes da serra. Formam pequenas áreas e estão próximo do contato entre planalto e serra. Ocorrem em duas porções da área, uma na parte superior do anfiteatro e outra como faixa alongada. Os perfis de solo para estas rochas correspondem a solos com uma textura mais argilosa, portanto, menos permeáveis, pouco profundos (<2,0 m) e podem conter solo coluvionar, com espessuras menores que 0,5 m. São rochas em que os perfis de solo possuem pouca espessura, solo incipiente, há presença de blocos de rocha e rocha pouco alterada. A Figura 23 ilustra o perfil de solo desses tipos de rocha.

Segundo IPT (1986), o solo superficial é de caráter argiloso com espessuras de ordem de 6 m no topo das elevações e de 2 m nas encostas de relevo suave. Solo de alteração é silto-arenoso com grandes espessuras nos relevos suaves, não sendo raros valores maiores que 100 m. Nas encostas de transição, esses valores diminuem consideravelmente.

Estão localizados nas partes inferiores da serra e podem estar cobertos pelos depósitos de tálus. Também podem ser encontrados processos de movimentos de massa (escorregamentos de solo rastejo) nas encostas da serra.

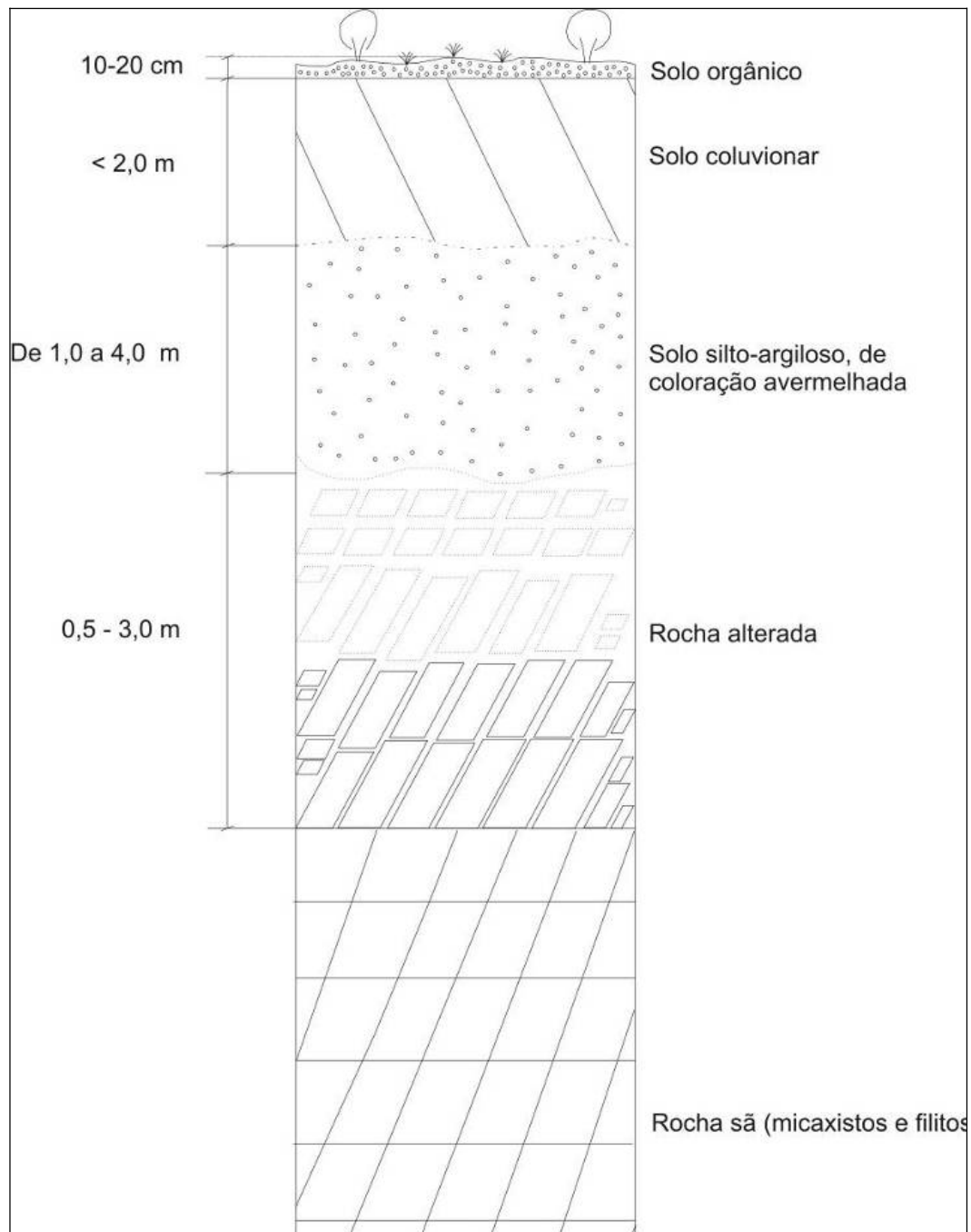


Figura 23: Perfil de alteração para os micaxistos e filitos em áreas da Serra do Mar.

No contato entre os migmatitos e gnaisses existe uma grande zona de falha que, na verdade, funciona como grande conduto de migração de água (porosidade por fratura). Nas proximidades da zona de falha são encontradas rochas com características de milonitos e cataclasitos. A falha possui uma orientação NE-SW e mergulhos subverticais. As fraturas exibem pequena abertura (entre 0,5 e 1,5 cm) sem preenchimentos por materiais secundários.

No perfil feito durante a descida do Caminho do Mar, esta faixa de afloramento (xistos e filitos) encontra-se na parte inferior da serra, onde estão instalados os rios Cubatão e Moji.

7.3.2.3 Granitos em Escarpa com Espigões Digitados (UGG-06)

Solo superficial (coluvionar) areno-argiloso com espessura da ordem de 2 m (cobertura coluvionar) e solo de alteração areno-argiloso com espessura variável podendo atingir algumas dezenas de metros no relevo colinoso e ausentar-se nas encostas de transição.

As rochas granitóides, e aquelas mais feldspatizadas, fornecem solos de alteração arenosos, entremeados de blocos e matações arredondados, devido a processos de esfoliação.

Estes granitos apresentam-se com solos de alteração normalmente mais arenosos e de mais fácil desagregação. Nas encostas estes granitos têm solos de alteração pouco profundos e quase incipientes, e logo aparecem blocos de rocha e rochas pouco alteradas. São registradas amplitudes de relevo maiores que 50 m, com entalhe de relevo. As Figuras 24, 25 e 26 apresentam o perfil de solo para granitos em áreas de encosta.

7.3.2.4 Quartzitos em Escarpa com Espigões Digitados (UGG-07)

Com presença restrita a duas porções da área estes quartzitos servem na verdade com divisores de bacias já que estão localizados na parte superior de morros (o quartzito sustenta o ponto mais alto do morro) com rochas muito resistentes aos processos de erosão e de intemperismo de modo geral.

Os quartzitos apresentam solo superficial arenoso pouco desenvolvido (cobertura coluvionar) e solo de alteração essencialmente granular (cascalho e matações) pouco espesso, onde a xistosidade está preservada.

Este tipo de alteração fornece solos mais arenosos e com grânulos (Figura 27).

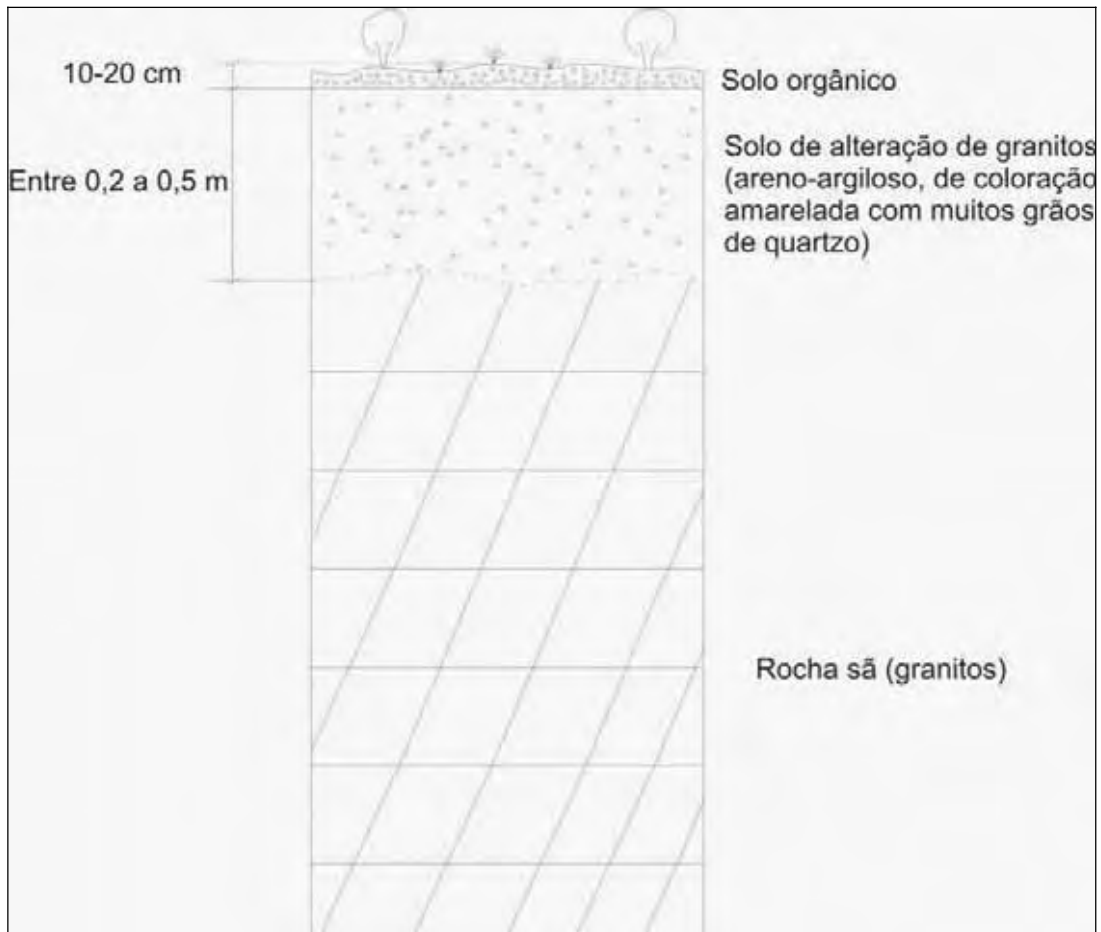


Figura 24: Perfil de alteração para os granitos em áreas da Serra do Mar.



Figura 25: Vista geral do perfil de alteração das rochas graníticas (Subida para Vôo Livre – Ponto 19).



Figura 26: Detalhe de rochas graníticas alteradas. (Ponto 19).

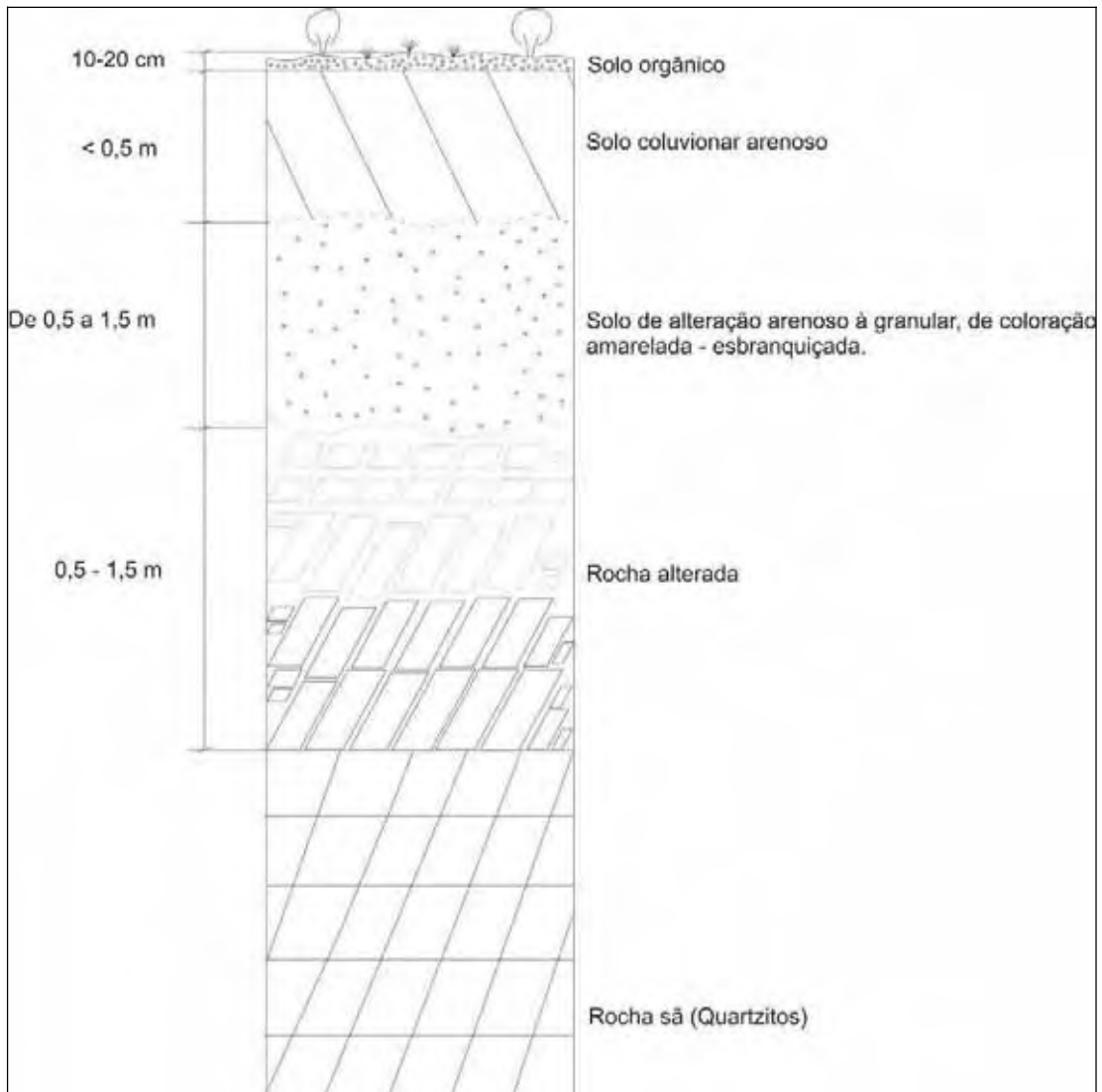


Figura 27: Perfil de alteração para os quartzitos em áreas da Serra do Mar.

7.3.2.5 Cataclasitos em Escarpas com Espigões Digitados (UGG-08)

Estas rochas estão presentes em zonas de falhamentos. Para a presente pesquisa está utilizando-se o mapa geológico elaborado pelo IPT (1986) em que são descrita presença destas rochas nas porções Nordeste da área.

Segundo IPT (1986) são encontradas rochas como estas, próxima à Zona de Falhamento de Cubatão. O perfil de alteração para os cataclasitos é apresentado na Figura 28.

Estas rochas são de extrema importância, pois formam verdadeiras zonas de fluxos de água no subsolo, devido a sua porosidade ter sido provocada pela tectônica (falhamentos transcorrentes). Estas falhas são sistemas que permitem a percolação de água por todo o maciço, fazendo com que as rochas sofram maior decomposição e se formem de novos caminhos para a água subterrânea.

Na presente situação, o duto não está interceptando a área de ocorrência dos cataclasitos/milonitos. Porém, se for considerados que na zona de Falhamento de Cubatão são encontradas rochas que apresentam estruturas semelhantes, então serão locais onde, na ocorrência de um vazamento de óleo, podem provocar migração mais rápida do contaminante além de poder atingir maiores áreas e proporções.

São áreas que combinadas com a forma de relevo (vertentes retilíneas), vales encaixados com forte entalhe e pela posição das estruturas, como foliação, xistosidade e fraturas, podem permitir a presença de processos como escorregamentos de solo, rocha e queda de blocos.

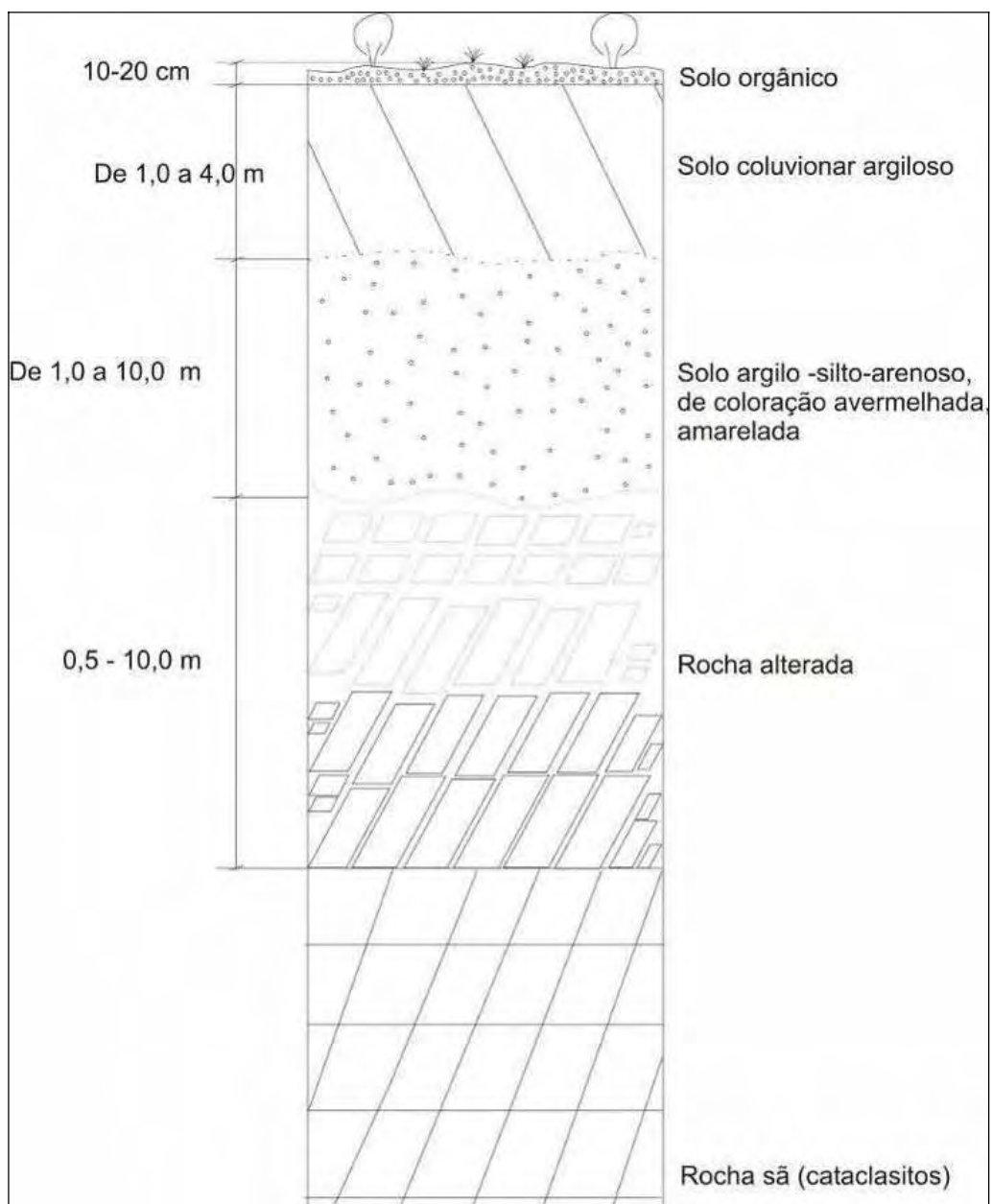


Figura 28: Perfil de alteração para os cataclasitos em áreas da Serra do Mar.

7.3.2.6 Depósito de Tálus (UGG-09)

São depósitos que estão no sopé das vertentes. São compostos por blocos de rocha imersos em matriz argilosa. Pode haver locais em que atingem a ter mais de 10 m de profundidade.

Estão associados a dinâmica das vertentes, pois são depósitos que se formam por escorregamentos ocorridos ao longo do tempo geológico. São materiais fofos, instáveis, porosos e com possibilidade de ocorrência de processos de rastejo (Perfil – Figura 29).

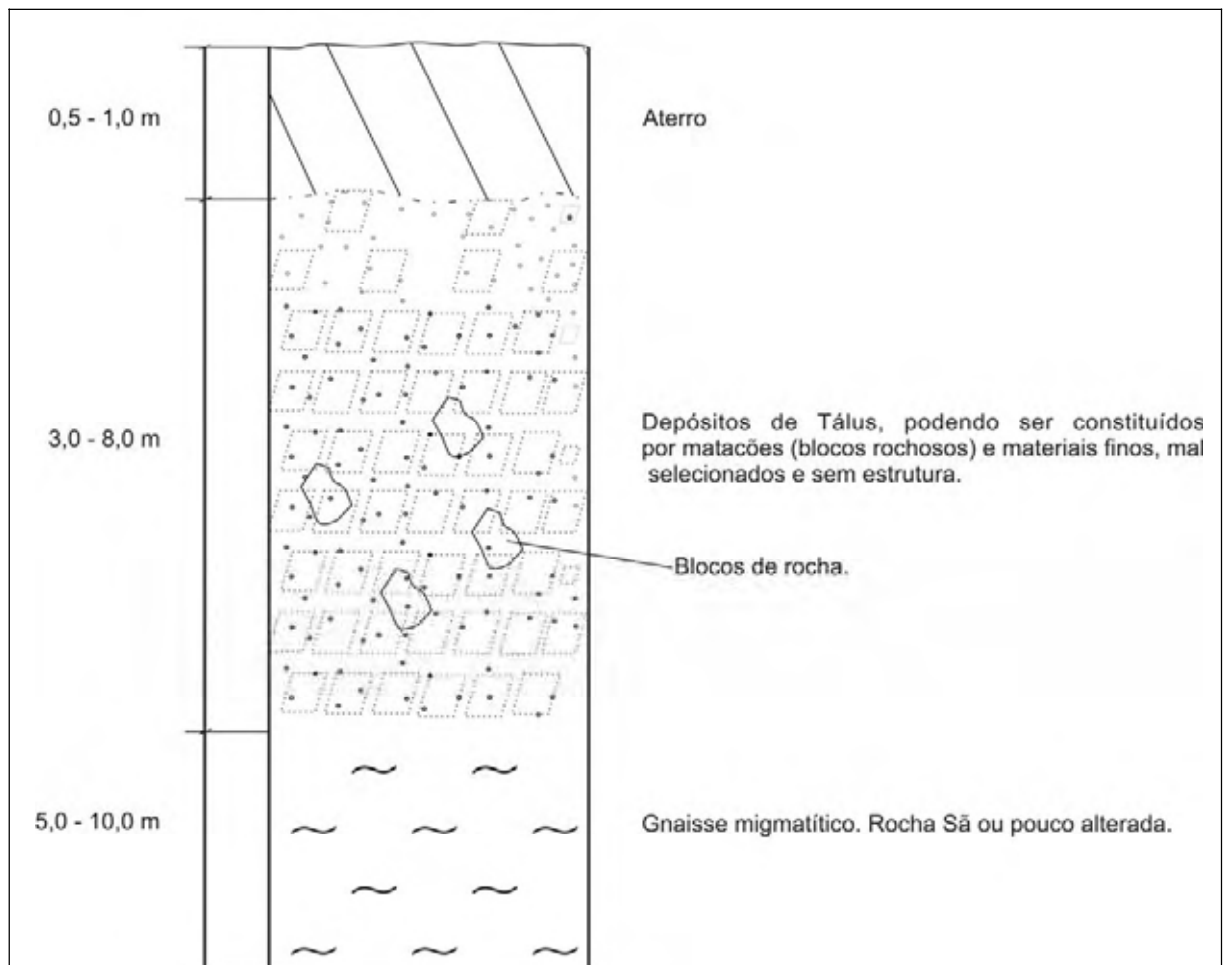


Figura 29: Perfil de alteração para os depósitos de Tálus.

7.3.3 Unidades Geológico-geotécnicas nas Baixadas Litorâneas

Segundo a descrição de IPT (1986), as Planícies Costeiras constituem-se em terrenos baixos mais ou menos planos, próximos ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante e localmente anastomosado, como formas subordinadas ocorrem antigos cordões (praias, dunas, etc). Os Terraços Marinhos são terrenos mais menos planos, poucos metros acima da planície costeira, com drenagem superficial ausente. Já, os Mangues são

terrenos baixos, quase horizontais, no nível de oscilações das marés, caracterizadas por sedimentos tipo vasa (lama) e vegetação típica e drenagem com padrão difuso.

IPT (1986) cita que os sedimentos arenosos ou argilosos estão distribuídos em camadas distintas interdigitadas. O pacote sedimentar observado (em Santos) apresenta espessura de até 60 m, sendo que as camadas de materiais distintos possuem espessuras da ordem de 20 m. As camadas arenosas se apresentam de pouco a medianamente compactada e as argilas, com consistência mole à média. Podem apresentar estratificação cruzada, plano-paralela e gradacional, com eventual ocorrência de matacões. Geralmente, estão próximos às encostas de transição e morros isolados. Os terrenos não inundados, que se destacam das baixadas litorâneas, apresentam níveis consolidados por cimentação limonítica com alto teor de matéria orgânica. Os mangues apresentam solos superficiais poucos desenvolvidos devido a estarem sujeitos à ação das marés. A influência da salinidade no ambiente de depósito se faz notar pelo estado de floculação das argilas.

Devido às características de litologia, ambientes, textura, foram definidas as seguintes unidades para a Baixada Litorânea.

7.3.3.1 Morros Isolados (UGG-10)

Destacam-se no relevo da Planície Litorânea e são compostos pelas rochas pré-cambrianas encontradas na área (xistos, gnaisses, migmatitos e granitos). Estas feições de relevo são encontradas por toda a planície litorânea e foram consideradas como uma Unidade por se entender que os processos atuantes e composições litológicas são totalmente distintos do restante dos materiais que ocorrem na Planície Costeira.

São locais onde, devido à forte declividade das encostas, muitas vezes superiores a 45%, aparecem escorregamentos de solos e rochas, queda de blocos. Muitas vertentes apresentam rocha sã aflorante e/ou solos poucos desenvolvidos e de pequenas espessuras.

Nos locais onde estão junto ao mar estes morros formam os chamados costões rochosos, locais onde as rochas afloram diretamente no mar.

7.3.3.2 Terraços Marinhos Pleistocênicos (UGG-11)

Esta unidade foi definida com base na divisão geológica estabelecida pelo IPT (1986), onde os materiais são descritos como areias finas, inconsolidadas, quartzosas, de deposição marinha, com níveis freqüentemente limonitizados, depositados durante o Pleistoceno.

Esses terraços possuem uma cobertura limonítica da superfície. Porém constituem áreas de fácil instalação de processos erosivos devido às areias finas estarem inconsolidadas e formam até pequenas voçorocas (Figura 30).

O nível d'água está muito próximo da superfície do terreno e devido à granulometria, estes depósitos formam excelentes reservatórios de água. Podem conter águas salobras e por isso, dutos instalados nestes terrenos podem sofrer um ataque corrosivo.

As observações de campo permitiram deduzir que estes depósitos correspondem ao antigo local de praia. São depósitos arenosos de coloração esbranquiçada, grãos finos e estrutura plano-paralela, corroboram para esta interpretação (Figuras 31 e 32).



Figura 30: Vista geral dos depósitos arenosos pleistocênicos com presença de dreno instalado ao lado da pista que liga São Vicente ao Bairro Continental. (Ponto 37).



Figura 31: Vista do depósito arenoso, esbranquiçado, com presença de crosta superficial limonítica (Ponto 37).

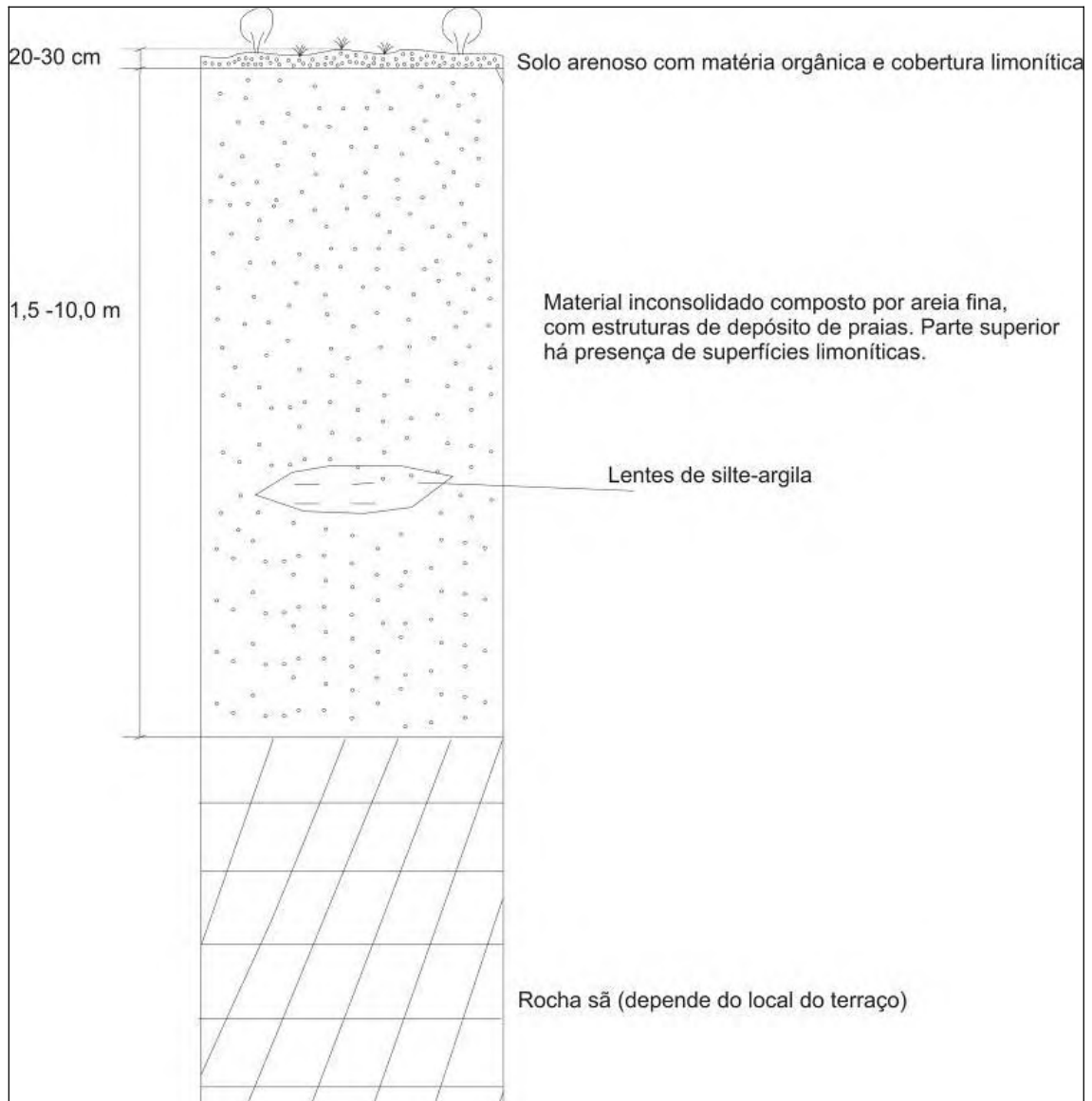


Figura 32: Perfil de alteração para os terraços marinhos arenosos.

7.3.3.3 Terraços Marinhos Holocênicos (UGG-12)

São locais onde estão as praias atuais, com presença de sedimentos arenosos finos, que estão sob a ação das ondas (Figura 33).

Possuem uma espessura variada e são, basicamente, compostos por areias finas, com permeabilidade alta e contêm em água salgada em seu interior (Figura 34).

São áreas que sofrem um forte ataque químico devido à presença de sais na água (ambiente corrosivos), além de terrenos de baixa capacidade de suporte, evidenciada pelas avarias nas fundações de prédios, ocorridas em Santos.



Figura 33: Vista da praia de Santos, com retrabalhamento dos sedimentos arenosos, finos causados pela ação das ondas (vista do ponto 17).

7.3.3.4 Planícies Aluvionares (UGG-13)

Segundo IPT (1986) são terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios sujeitos periodicamente à inundações. Constituem-se de turfas, argilas com ou sem matéria orgânica, siltes, areias e cascalhos. Apresentam solos superficiais normalmente com predominância de argilas orgânicas, pouco desenvolvidos. Depósitos aluvionares com granulometria variada (com predominância de areias nas ocorrências mais expressivas), espessuras da ordem de 6 m, podendo atingir, localmente, 10 m. de sedimentos inconsolidados. Também apresentam estruturas típicas de aluvião (estratificações, diferenciação granulométrica, camadas etc). Nos cursos d'água menores, os sedimentos aluvionares, frequentemente, ocorrem interdigitados com os sedimentos coluvionares (Figura 35).

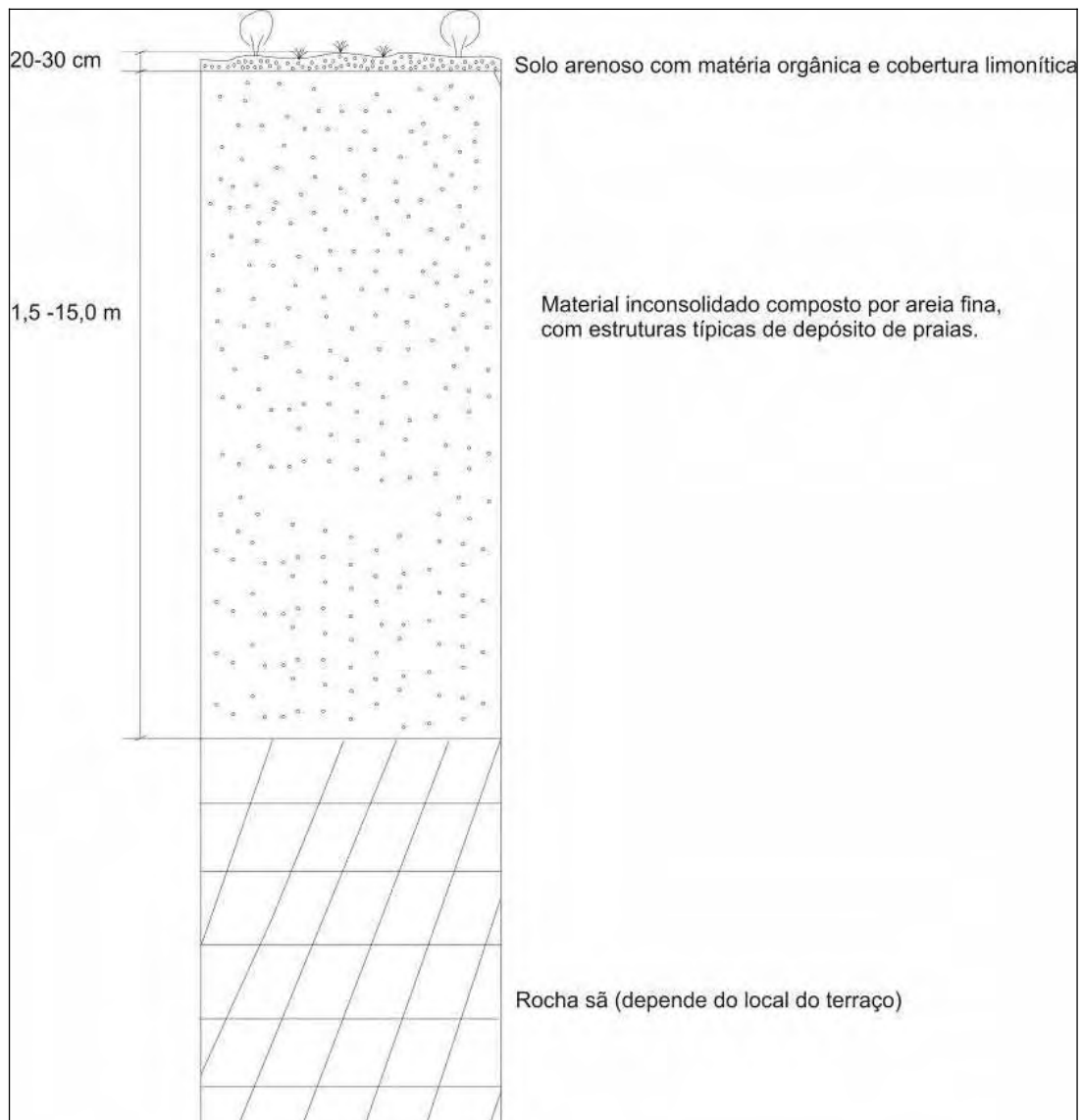


Figura 34: Perfil de alteração para areias marinhas recentes (praias).

Na área de estudo, estes depósitos foram delimitados com base no mapa geológico de IPT (1986) e fotos aéreas. Têm ocorrência na baixada litorânea, em volta dos rios Cubatão e Moji além de outras áreas menores, tais como a planície do rio Perequê (Figura 36).

São depósitos que apresentam nível d'água raso e devido sua composição, possuem baixa capacidade de suporte.

7.3.3.5 Manguezais (UGG-14)

São terrenos de composição basicamente argilosa, com espaço influência, principalmente, das marés, onde existe uma vegetação típica de manguezal. São solos pouco desenvolvidos, ocorrendo sedimentos inconsolidados (Figura 37).

Devido a tais características, estes terrenos apresentam baixa capacidade de suporte, além da ocorrência de águas salobras e de matéria orgânica que possibilitam maior corrosão dos oleodutos.

São terrenos de baixa permeabilidade, e com grande quantidade de canais de drenagens pelo mangue fazendo com que o óleo migre pela água superficial e não pelo substrato.

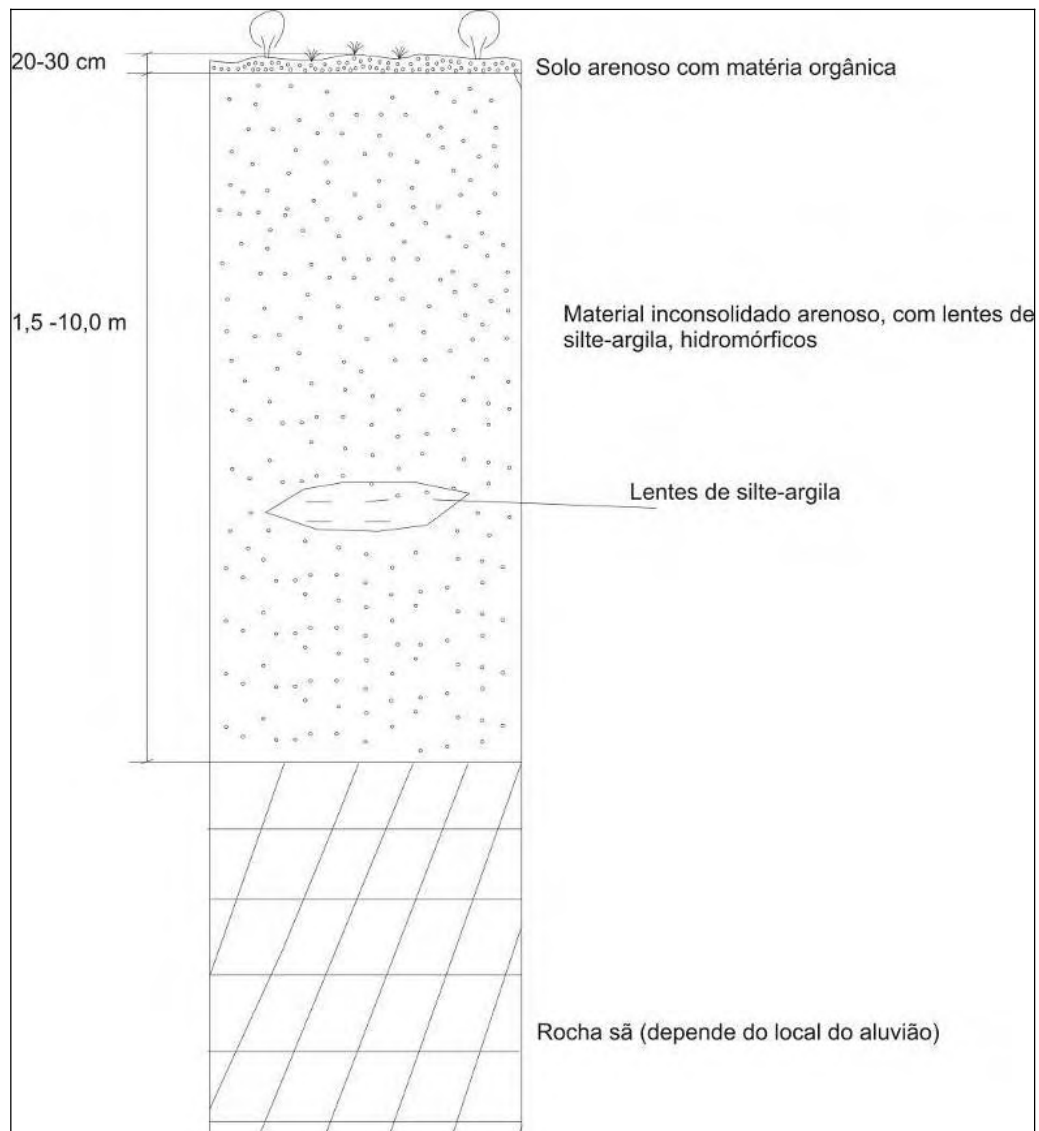


Figura 35: Perfil de alteração dos depósitos aluviais.



Figura 36: Vista geral da planície do rio Perequê encaixada sobre rochas cristalinas da Serra do Mar (Ponto 04).

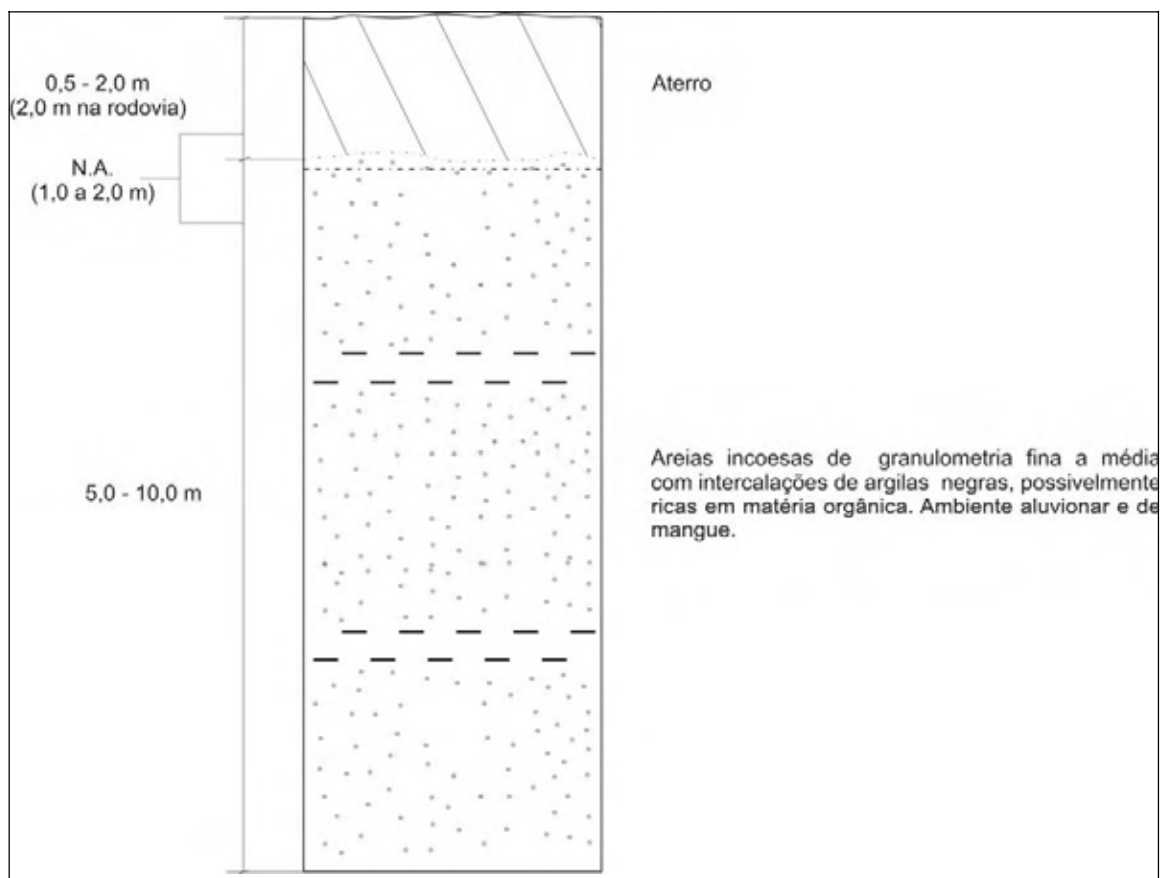


Figura 37: Perfil de alteração de área de mangues.

7.3.3.6 Planícies Costeiras (UGG-15)

Corresponde à feição plana encontrada na maior porção da Baixada Litorânea. Incluem as áreas lagunas e estuários e até porções que podem ser incorporadas também nos mangues. Encontram-se os sedimentos arenosos inconsolidados de praias, sedimentos flúvio-lagunares e depósitos de baías.

Com as feições típicas das baixadas litorâneas (Figuras 38 e 39), nas imagens elas representam as porções com textura lisa, densidade de drenagem relativamente alta devido a grande quantidade de canais encontrados nestas áreas.

São terrenos que apresentam solos com baixa capacidade de suporte, N.A. raso (<2,0 m de profundidade) e pode ocorrerem juntamente com solos orgânicos, formando terrenos pouco mais ácidos. As águas salobras também podem gerar ambientes corrosivos para os dutos.



Figura 38: Vista geral da área de estudo onde ao fundo são encontrados os mangues do sistema estuarino de Santos (vista do ponto 28).



Figura 39: Vista parcial da estrada (rod. Anchieta – sentido capital) sobre mangue que foi desmatado e aterrado. As estacas amarelas marcam posicionamento dos oleodutos.

7.4 Unidade Especial: Mananciais Hídricos

Esta unidade foi denominada de Especial por se entender que não representa uma unidade de relevo. Corresponde às áreas ocupadas pelos mananciais hídricos como a represa rio das Pedras (porção noroeste da área) e os principais rios, como Cubatão, Pilões, Perequê e Moji. Também foram considerados os canais estuarinos e lagunas de Santos e São Vicente, onde os rios têm suas desembocaduras e também estão passíveis de contaminação, cujas águas são utilizadas para diversos fins econômicos.

A represa Rio das Pedras constitui um corpo d'água importante para o abastecimento urbano, pesca, turismo e, no caso de vazamento e contaminação da água, os efeitos sobre o ambiente, principalmente para o homem, atingiriam grandes proporções, além de impactos ambientais consideráveis para a fauna e flora adjacentes.

7.5 Delimitação da Área de Influência

Uma das etapas da presente pesquisa consistiu na elaboração de mapa de área de influência da dutovia OSSP. Este mapa é apresentado no Apêndice 06 e foram consideradas como áreas de influência direta, indireta e não-afetadas.

Para a delimitação da área de influência foi considerado o traçado do oleoduto em relação aos seguintes fatores:

- Posição da dutovia na bacia hidrográfica;
- Drenagens interceptadas pelo duto;
- Proximidade com os assentamentos urbanos;
- Locais onde possa ocorrer concentração de pessoas.

Segundo Tommasi (1994, apud CULHIARI, 2005), o estabelecimento de limites (Art. 5º, III, de Resolução 001/86 do CONAMA) geográficos, tecnológicos, sociais, econômicos, ou seja, a área de influência do empreendimento é uma das tarefas mais difíceis e complexas em um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) A. Apesar disso, esse procedimento é fundamental. Os limites estabelecidos determinam a extensão física, a escala temporal e a abordagem tecnológica necessária aos estudos e determinam, também, a amplitude das interpretações, extrapolações e previsões.

Em SMA (1991, apud, CULHIARI, 2005) são abordados os seguintes conceitos:

- **Área de Influência:** Apresentar os limites da área geográfica a ser afetada direta ou indiretamente pelos impactos, denominada de área de influência do projeto, a qual deverá conter as áreas de incidência dos impactos, abrangendo os distintos contornos para cada área enfocada. É necessário apresentar, igualmente, a justificativa da definição das áreas de influência dos impactos, acompanhadas de mapeamento.

- **Diagnóstico Ambiental da Área de Influência:** Deverão ser apresentadas descrição e análise dos fatores ambientais e suas interações, caracterizando a situação ambiental da área de influência, antes da implantação do empreendimento. Estes fatores englobam:

- as variáveis suscetíveis de sofrer direta ou indiretamente efeitos significativos das ações executadas nas fases de planejamento, implantação, operação e se for o caso desativação.

- as informações cartográficas da área de influência, devidamente caracterizada, em escalas compatíveis com o nível de detalhamento dos fatores ambientais estudados.

Observa-se que no traçado do oleoduto na área, podem ocorrer duas formas distintas de contaminação:

- na área de planalto e da baixada litorânea, os dutos encontram-se enterrados no substrato do terreno. O processo dominante, neste caso, consiste na infiltração do óleo no solo e nas águas subterrâneas;

- na área das escarpas da Serra do Mar, o duto encontra-se assentado sobre a superfície da vertente, mais precisamente inserido sobre um divisor de águas. No caso de um vazamento, o óleo vai escoar sobre a superfície do terreno e pelos canais de drenagens mais próximos.

Esses dois processos, tanto escoamento superficial, quanto para infiltração, irão provocar impactos negativos em diferentes porções do ambiente. Estes distintos ambientes impactados bem como os parâmetros correspondentes para a forma de migração do contaminante é que devem definir as unidades de análise.

Numa análise do trecho onde o duto está instalado e considerando as características do ambiente, seja do meio físico, biótico e formas de uso e ocupação do solo, projeta-se os seguintes locais que poderiam ser atingidos pelo vazamento de óleo da presente dutovia:

- **Na área de planalto:** as águas da represa, drenagens interceptadas pelos dutos e bacia hidrográfica à qual a drenagem pertence, as águas subterrâneas (aqüíferos); o solo, as várias formas de usos dos recursos, tais como, pesca, turismo, captação de água, além de atingir os componentes de fauna e flora do local;
- **Na área de serra:** as águas das drenagens das bacias hidrográficas próximas e as nascentes, as águas subterrâneas, as águas dos mangues e até águas de mar aberto; os solos, mesmo que superficialmente; a vegetação próxima ao duto; Atingiria as várias formas de usos dos recursos, tais como, pesca, turismo, captação de água, além de atingir os componentes de fauna e flora do local, principalmente dos mangues;
- **Na área de baixada:** as drenagens cujo duto intercepta em seu traçado; o solo, além de possível mal estar na população vizinha, e até provocar mortes de indivíduos. A migração desse contaminante no solo vai depender das características dos materiais encontrados. Isso atingiria direta e/ou indiretamente

várias formas de usos dos recursos, tais como, pesca, turismo, fauna e flora do local.

Sendo assim, pode-se definir como área de influência direta a faixa sobre a superfície na qual está o duto, aqui definido com 50 m para cada lado, a área da represa do Rio das Pedras e as Bacias Hidrográficas localizadas próximas ao duto, principalmente na Serra do Mar.

A área de influência indireta são áreas que podem vir ser atingidas caso ocorra um vazamento de óleo (em amarelo). Braços d'água da represa também foram considerados como área de influência indireta.

As áreas não hachuradas representam locais nos quais não há possibilidade de serem atingidas por vazamento de hidrocarboneto.

Nesta porção, a tubulação passa por uma represa importante para a captação de água para abastecimento urbano e para atividades turísticas. Este duto também passa por área com muitas moradias, como é o caso dos Bairros Cota e do próprio município de Cubatão.

Até a chegada ao Terminal de Alemoa o duto foi instalado sobre aterros na área do antigo mangue. Muitas pequenas drenagens e, principalmente, o Rio Cubatão são interceptados pela tubulação.

Já a área hachurada de amarelo, dependendo do volume derramado, está sujeita a ser atingida pelo óleo. São áreas que correspondem à Bacia Hidrográfica do rio Pilões, na qual as drenagens podem ser atingidas pelo fluxo subterrâneo das águas, em área predominante de mangues. Nestes ambientes, a maré pode funcionar como agente espalhador do óleo, amplificando o efeito impactante sobre o local.

Essas áreas assinaladas em amarelo contêm atividades econômicas importantes, como pesca e turismo. O adensamento populacional nessa área pode ampliar as conseqüências advindas de um possível vazamento de óleo.

As áreas não assinaladas ou deixadas em branco são aquelas que não vão sofrer impactos diretos do óleo, já que as características morfológicas, geológicas, hidrológicas não permitem que o óleo chegue nestas porções. São áreas como porções da serra onde não estão localizados os dutos ou que mesmo que ocorra um vazamento não poderiam ser atingidas (áreas altas, topos de morros e os morros isolados encontrados na Baixada Litorânea).

Neste mapa também são colocadas os principais pontos notáveis (de acordo com descrição feita por Mendes et al. 2005), tais como, a represa Rio das Pedras, travessia do duto

pelo rio Cubatão, bairros Cota e bairro da cidade de Cubatão, como a Vila São José estão destacadas no mapa com círculos ou elipses.

Destaca-se que a escala adotada para o mapa de área de influência corresponde a 1:50.000, que é compatível com a escala adotada para outros produtos cartográficos apresentados.

8. DISCUSSÕES

As características encontradas no ambiente físico (geológico, geomorfológico, pedológico, hidrogeológico e os comportamentos hidrológicos e geotécnicos) podem potencializar ou limitar a área contaminada pelo vazamento de óleo. Por outro lado, há condicionantes do meio físico que podem provocar acidentes nas dutovias. Correspondem aos processos geológicos e aos comportamentos geotécnicos dos materiais que, em caso de ocorrência, podem provocar exposição e/ou rompimento dos oleodutos.

8.1) Os Processos Geológicos e Comportamentos Geotécnicos: Avaliação para Prevenção de Acidentes

Os Processos Geológicos e Comportamentos Geotécnicos são condicionantes que podem afetar diretamente os dutos, causando exposição e/ou rompimento dos mesmos. A caracterização destes processos e previsão dos comportamentos permitem a prevenção de acidentes nas faixas de dutos.

Uma das maneiras mais utilizadas para prever a ocorrência de um processo geológico, por exemplo, consiste na caracterização do meio físico que registra as “evidências” e indica a possibilidade de deflagração de tal processo. A análise dessas “evidências” pode ser abordada em um plano sobre Análise de Risco.

Uma análise de risco para processos geológicos e comportamentos geotécnicos envolve dois fatores básicos: a possibilidade de ocorrência de determinado processo (P) e conseqüências advindas da ocorrência do processo (C), sendo o risco (R) expresso pelo produto da possibilidade de ocorrência e a conseqüência ($R=P \times C$).

A possibilidade de ocorrência consiste no valor estatístico (probabilidade) que existe de tal processo ser deflagrado. Porém, é demasiadamente difícil quantificar estes elementos, sendo, muitas vezes, utilizadas classes de possibilidade qualitativas (baixo, média, alta). Essa divisão baseia-se em critérios dos indícios encontrados sobre os processos geológicos e comportamentos geotécnicos para que a subjetividade possa ser diminuída.

Esses indícios são, por exemplo, no caso de escorregamentos, trincas, degraus de abatimento. São elementos que permitem fazer uma previsão de ocorrência ou não do processo, mesmo sem determinar quando ele pode ocorrer precisamente.

Como já descrito no item processos geológicos e comportamentos geotécnicos, processos como erosão linear, erosão fluvial, escorregamentos, além de presença de solos com baixa capacidade de suporte, solos agressivos, solos colapsíveis, solos expansivos podem provocar exposição dos dutos e até rompimentos na tubulação.

Na Tabela 03 é apresentada a correlação entre os processos geológicos encontrados e comportamentos geotécnicos esperados para as Unidades definidas.

Tabela 03: Correlação entre os processos geológicos e comportamentos geotécnicos para as unidades geológico-geotécnicas.

Processos Geológicos e Comportamentos geotécnicos	Unidades Geológico-Geotécnicas
- pequenos sulcos e ravinas nas vertentes dos morrotes; - próximo a represa, nível d'água mais raso, podendo atingir o duto e atacá-lo quimicamente (corrosão); - escorregamentos (rastejo e de solo) principalmente em corte e taludes das estradas e nas vertentes dos morrotes.	UGG-01 UGG-02
- solos com baixa capacidade de suporte e podem conter matéria orgânica (ambientes mais corrosivos para os dutos).	UGG-03
- erosão principalmente nas vertentes com declives mais acentuados (entalhe de canais); - escorregamentos de solo, rastejos, queda e rolamento de blocos, são os processos mais comuns nas escarpas da serra do mar.	UGG-04 UGG-05 UGG-06 UGG-07 UGG-08 UGG-09 UGG-10
- solos com baixa capacidade de suporte e podem conter matéria orgânica (ambientes mais corrosivos para os dutos).	UGG-11 UGG-12 UGG-13 UGG-14 UGG-15

Os processos erosivos encontrados são decorrentes da ausência de cobertura vegetal, concentração de águas pluviais, altas declividades das vertentes da serra e dos morros isolados. São sulcos e pequenas ravinas. Nos sedimentos da baixada litorânea também são encontradas sulcos e pequenas ravinas, como por exemplo, o canal aberto na Unidade UGG-11 (Terraços Marinheiros Pleistocênicos) (Figura 40).

São descritas ocorrências de erosão nos sedimentos arenosos pleistocênicos (terraços – Figura 41). A própria erosão atinge os sedimentos arenosos marinhos atuais, assim como se têm processos como escorregamentos de solo e de queda de blocos nos morros isolados da Baixada Litorânea e presença de solos de caráter corrosivo na região de planalto.

Outro processo encontrado na presente área de estudo são os escorregamentos e processos correlatos. Estes processos dominam nas encostas das escarpas da Serra do Mar e dos morros isolados na Baixada Litorânea e também nas vertentes dos morrotes do planalto.



Figura 40: Vista, na ortofoto, da região onde são encontrados processos erosivos e exposição de solo.



Figura 41: Detalhe de canal que foi aberto onde são encontradas pequenas erosões nas laterais deste canal ao lado da pista (ponto indicado pela seta – Ponto 37).

Estes processos de escorregamentos vão desde escorregamento de solo, rastejo, queda e até rolamento de blocos e corridas de lama.

Na estrada Caminho do Mar são encontradas evidências de escorregamentos de solo, e de rolamento de blocos. Esta estrada está quase totalmente inserida nas vertentes da Serra do Mar (no Planalto – Riacho Grande) (Figuras 42, 43 e 44).



Figura 42: Vista da ortofoto de uma parte da Serra do Mar (vertentes de frente para a refinaria RPBC). No destaque feição indicativa de processos de escorregamento.



Figura 43: Detalhe de escorregamento ocorrido no talude da estrada Caminho do Mar.



Figura 44: Detalhe do depósito de blocos de rochas que são transportados pela água em chuvas mais fortes no fundo do vale.

Quanto aos comportamentos geotécnicos, é admitida a ocorrência de solos agressivos e solos com baixa capacidade de suporte. Para os solos agressivos correlacionados com materiais que possuem matéria orgânica, ou seja, os ambientes de manguezais e os aluviões. Uma tubulação assentada nesses materiais pode sofrer recalques e, conseqüentemente, rompimento.

Em muitos casos, o duto não intercepta esses materiais, sendo assentados sobre os aterros construídos que também podem sofrer recalques em sua base.

De modo geral, podem-se correlacionar os eventos com as características do meio físico. Nas escarpas da Serra do Mar, cuja declividade é acima de 30% predominam processos

geológicos de escorregamento. Também são encontrados processos erosivos, principalmente nos canais de drenagens instalados na meia encosta.

Para a Baixada Santista têm-se nas áreas planas os principais problemas que podem ser correlacionados com os comportamentos geotécnicos, principalmente associadas a sedimentos de baixa capacidade de suporte e a solos agressivos.

Para cada processo podem ser apresentadas soluções que visem no aumento da vida útil do duto, bem como tentativas de se evitar acidentes com os produtos transportados. Evitar a instalação de processos erosivos, seja pela preservação da vegetação ou por obras de engenharia são alternativas mais benéficas para o ambiente em relação ao atendimento de uma emergência devido ao vazamento de óleo.

8.2) Características do meio físico que influenciam na migração do óleo

Neste tópico são consideradas as características dos ambientes, dos componentes geológicos (tipos de substrato, tipos de rochas, estruturas associadas, etc), geomorfológicos (declividades, formas das encostas, formas dos vales, bacias hidrográficas, etc), tipos distintos dos solos (granulometria, espessuras, estruturas, texturas, etc), hidrológicos (canais de drenagens superficiais e seus formatos), hidrogeológicos (fluxo de água subterrânea, porosidade e permeabilidade). Também devem ser consideradas os tipos de vegetação e as formas e usos de ocupação do solo (atividades econômicas desenvolvidas, entre outras).

Neste 2º caso pretende-se entender como este óleo vai se comportar no meio, ou seja, como vai migrar no ambiente e quais áreas poderá atingir e causar impactos negativos. Assim, podem ser estabelecidas áreas prioritárias para proteção, nas formas mais eficazes de contenção da frente de poluição, e de recuperação dessas áreas.

Sendo estes os fatores considerados, podem-se definir duas formas de migração do óleo:

- A migração do óleo ocorre sobre a superfície do terreno (escoamento superficial);
- A migração do óleo ocorre em subsuperfície (infiltração e/ou escoamento subsuperficial).

Segundo Ferreira e Zuquette (1998), o comportamento do contaminante no meio físico é influenciado pelo tipo de contaminante, suas características físico-químicas e pelas características dos materiais sólidos que compõem o meio.

São elencados e trabalhados os diferentes elementos de meio físico que vão influenciar na migração do óleo sobre o ambiente da área de estudo. Isto porque, esta forma de migração

do óleo tanto em superfície quanto em subsuperfície, implica distintos impactos ambientais negativos no ambientes e diferentes formas de recuperação e limpeza do local.

8.2.1 Escoamento Superficial

De acordo com as características do óleo e do volume vazado da tubulação, os condicionantes do relevo poderão orientar (velocidade e direção) o escoamento do óleo no meio sobre a superfície do terreno.

O caminho mais lógico será aquele em que o óleo vai escoar pela superfície até encontrar a drenagem mais próxima ou o local em que possa infiltrar no substrato (solo e rocha). Daí por diante, o contaminante vai seguir o fluxo da água existente no canal. Para a infiltração, as informações são apresentadas mais adiante.

Considerando estes aspectos, chegou-se à determinação dos seguintes parâmetros:

- o tipo de substrato pelo qual o óleo está passando (solo e rocha);
- presença ou não de cobertura vegetal;
- declividade do terreno;
- forma de encosta (côncava, convexa ou retilínea);
- distância dos corpos d'água.

No caso do duto em questão, por exemplo, a porção inserida na Serra do Mar que está sobre a superfície, fica sobre as cristas de um espigão da serra. Isso faz com que em um vazamento de óleo, a crista funcionaria como dispersor de água e, conseqüentemente, do óleo. Atingiria as duas pequenas bacias hidrográficas localizadas ao lado do espigão, que teriam as drenagens comprometidas (Figuras 45, 46 47 e 48).



Figura 45: Detalhe do oleoduto instalado sobre o espigão da escarpa da Serra do Mar.

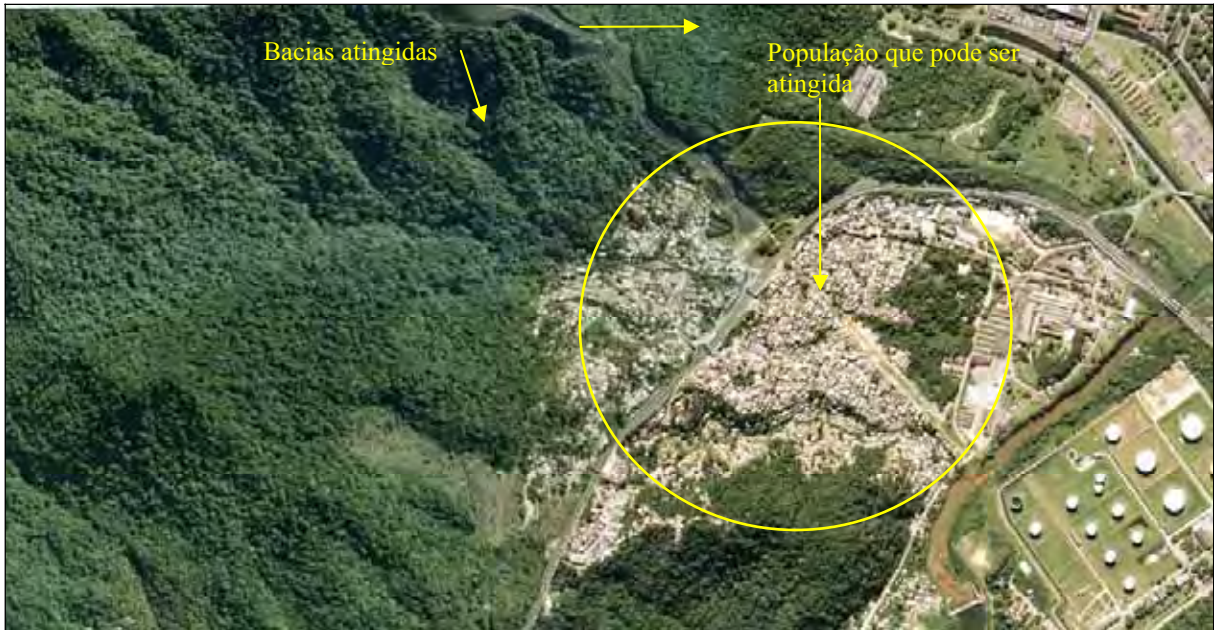


Figura 46: Detalhe do duto sobre as escarpas da serra em direção a Baixada Litorânea, passando pelo bairro de Cubatão.



Figura 47: Vista do duto instalado sobre o espigão da encosta da Serra do Mar



Figura 48: Detalhe do duto onde se observa que na faixa do duto não há vegetação, sendo o duto instalado sobre a superfície das rochas que estão cobertas por piche (material impermeabilizante).

O escoamento superficial do óleo provocaria um impacto físico sobre o ambiente, causando uma impermeabilização do terreno e o recobrimento de plantas e animais.

A declividade do terreno influencia na velocidade de escoamento do óleo. Espera-se que, quanto maior for a declividade do terreno, maior a velocidade do fluxo do contaminante. Testes e ensaios poderiam ser utilizados para a determinação desta hipótese. Para fins de comparação, hipoteticamente, definiu-se 3 classes de declividades apresentadas na Tabela 04.

Tabela 04: Correlação entre a declividade e velocidade escoamento.

Declividade (%)	Escoamento (velocidade relativa)
0 - 10	Lento
10-30	Médio
30-45	Rápido

Como apresentado na tabela acima, os valores foram fixados hipoteticamente, mas caso fossem realizados testes e ensaios, poderia se chegar a mais ou menos classes. Comparando com as Unidades Geológico-geotécnicas, de forma geral, ter-se-iam as seguintes classes:

- Unidades da Serrania Costeira UGG-04, 05, 06, 07, 08 e 09 além da Unidade UGG-10 (Morros Isolados) que está na planície litorânea: locais com declives, em sua maioria, maiores que 30% e escoamento superficial mais rápido;

- Unidade do Planalto (UGG-01 e 02) seriam locais com declive, em sua maioria, entre 10 e 30% e escoamento superficial com velocidade relativa média;

- Unidade da Baixada Litorânea, sendo UGG-11, 12, 13, 14 e 15 além dos aluviões do Planalto (UGG-03) que possuem terrenos com baixas declividades (muito menores que 10%): locais com declive, em sua maioria, menores que 10% e, conseqüentemente, com escoamento superficial mais lento.

Combinados à declividade estão os tipos de vertentes. Cada forma possui características geotécnicas. Essas formas, espacialmente, apresentam-se como pontos ora de divergência, ora como pontos de convergência.

Por toda a Serra do Mar, o perfil de vertente mais encontrado corresponde ao convexo-retilíneo-côncavo, em muitos casos, com a parte basal (côncava) coberta por sedimentos (depósitos de tálus). Para a área de planalto, as colinas e morrotes podem apresentar perfis convexos e/ou convexo-côncavos.

O fato é que as formas das vertentes e declividade do terreno estão ligadas e, assim, as velocidades de escoamento do óleo sobre esses perfis também vão variar conforme as formas das vertentes encontradas.

A Serra do Mar apresenta, principalmente, para a Unidade Geológico-geotécnica UGG-04, pequenas bacias hidrográficas que funcionam como pontos de convergência de águas. Próximo ao duto (ver mapa geológico-geotécnico - Apêndice 05), há duas bacias que são exatamente divididas pelo espigão que contém o duto.

Interligado à declividade do terreno e dos perfis de vertente está o tipo de substrato encontrado. Em declividades mais acentuadas e com perfis retilíneos há presença de solo pouco espesso ou rocha sã aflorante, ao passo que perfis convexos possuem solo de alteração mais espessos e declividades mais suaves. Estes fatores estão ligados pelos processos de evolução das vertentes por meio do intemperismo das rochas.

A cobertura vegetal também é fator que pode ser inserido para consideração da velocidade de escoamento do óleo sobre a superfície.

Mesmo sendo critérios subjetivos, o propósito é demonstrar que é possível o estabelecimento de índices ou pesos para cada situação e para cada característica do meio físico.

Para a declividade do terreno e forma das encostas considerou-se o tempo que o óleo vai gastar para atingir a maior área, ou atingir a drenagem mais próxima. Entendeu-se que declividades mais altas implicam maiores velocidades de escoamento e, portanto, menor tempo para atingir maiores áreas. Aliado a isto se encontram os perfis retilíneos das vertentes, que possuem rochas expostas e declividades mais acentuadas, onde a velocidade de escoamento será menor.

8.2.2 Migração em Subsuperfície

Uma vez ocorrido o acidente com o duto, o óleo poderá se infiltrar no ambiente ou, no caso de vazamento de óleo da tubulação enterrada, atingirá diretamente o subsolo.

A Figura 49 ilustra um exemplo de migração do hidrocarboneto de tanques de armazenamento que ficam enterrados. Nota-se que o hidrocarboneto tende a ter uma migração vertical até encontrar o N.A. do terreno. Daí por diante, o contaminante irá migrar de acordo com o fluxo subterrâneo do local.

Um instrumento muito utilizado para entender e visualizar o fluxo de água subterrâneo denominam-se Mapas Potenciométricos, nos quais são definidas isolinhas elaboradas por meio de informações coletas em pontos de amostragens que indicam “a topografia do topo da água” ou no caso de cada ponto amostrado, a cota do N.A. Assim, pode-se visualizar o fluxo, já que a água vai do maior para o menor potencial hidráulico.

As características do substrato que definem a forma e a velocidade de migração são basicamente, a porosidade e a permeabilidade do local. Esses dois elementos, no entanto, variam de acordo com os tipos de rochas e solos encontrados.

Mais importante que a própria porosidade que corresponde a “espaços vazios nas rochas” é a permeabilidade, já que este fator determina a velocidade de fluxo de fluidos pelo substrato. Para a presente pesquisa, foram consideradas as porosidades intragranulares e de fraturas.

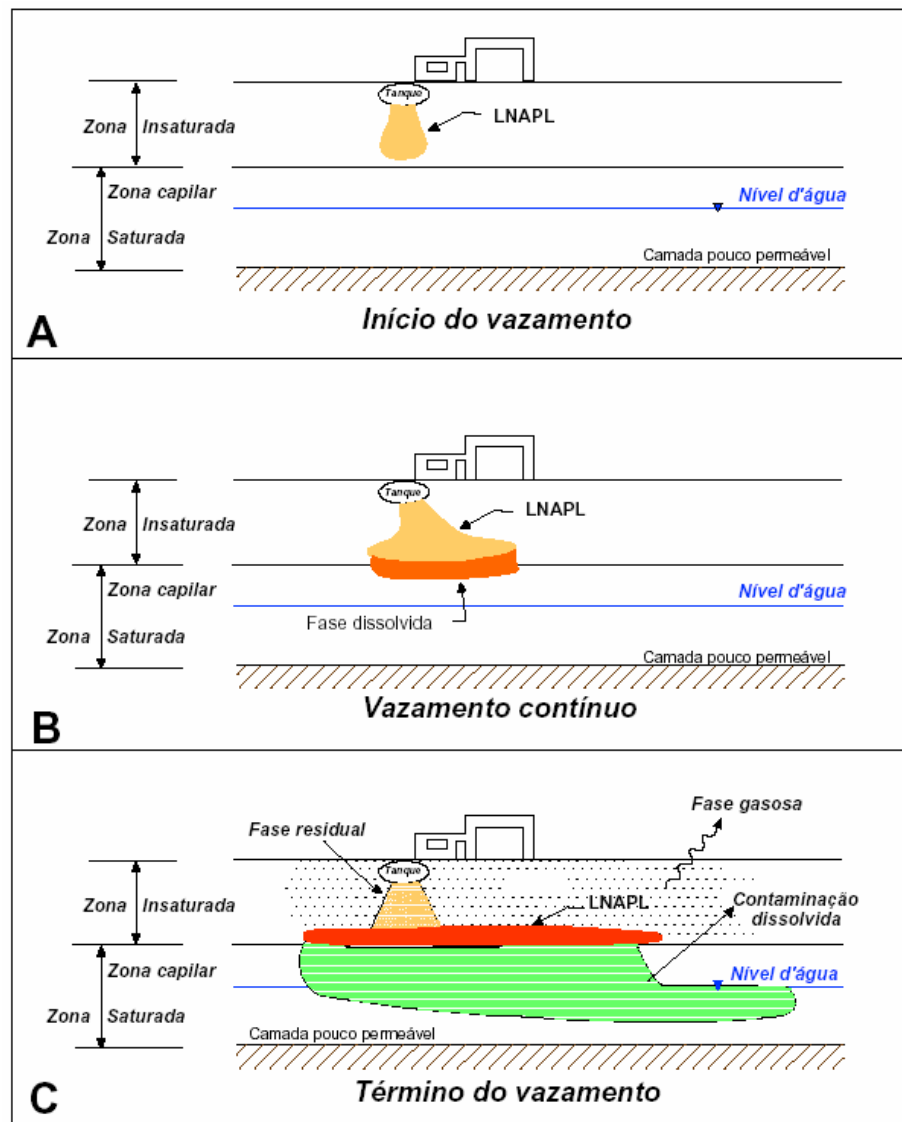


Figura 49: Esquema do comportamento das fases dos hidrocarbonetos no solo e água subterrânea (MANCINI, 2002).

Para a porosidade intragranular, a permeabilidade do substrato vai depender dos arranjos, formas, seleção e tamanho dos grãos, textura dos solos, tipos de cimentação, composição do substrato, além do tipo de fluido. A Tabela 05 ilustra valores de Permeabilidade ou condutividade hidráulica, de acordo com a composição do substrato.

Tabela 05: Faixa de valores condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (MANCINI, 2002).

Material	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	
Areia siltosa; areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10^{-2} - 10^0$

Para os colúvios da Serra do Mar, Abramento e Souza Pinto (1993) chegaram à descrição de um solo, em geral, areia argilosa-siltosa, com fração fina pouco a medianamente plástica (SC-CL), sendo que o material é constituído, essencialmente, por partículas arenosas, totalizando, aproximadamente, 75% em peso, estando os outros 25% distribuídos entre as frações silte e argila.

Para os sedimentos da Baixada Santista são apresentados três perfis de sondagens em pontos distintos (Figuras 50, 51 e 52) e que ilustram a composição e estratigrafia dos sedimentos da planície litorânea.

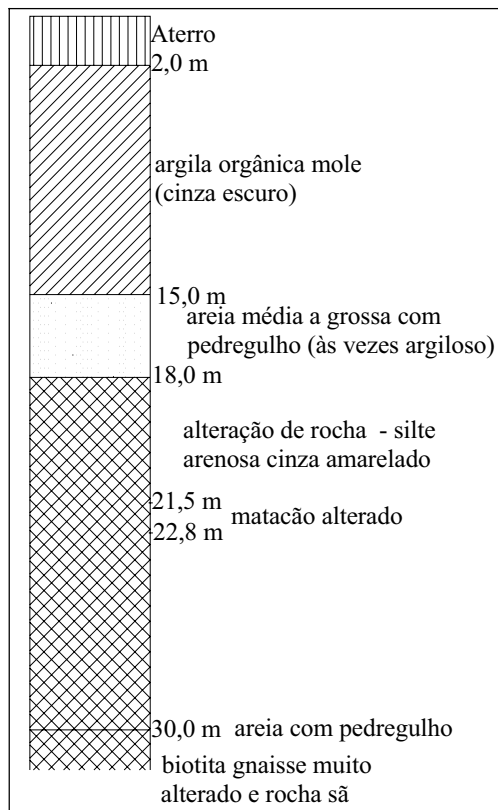


Figura 50: Perfil de sondagem no terreno da Usina da Cosipa (VARGAS, 1994).

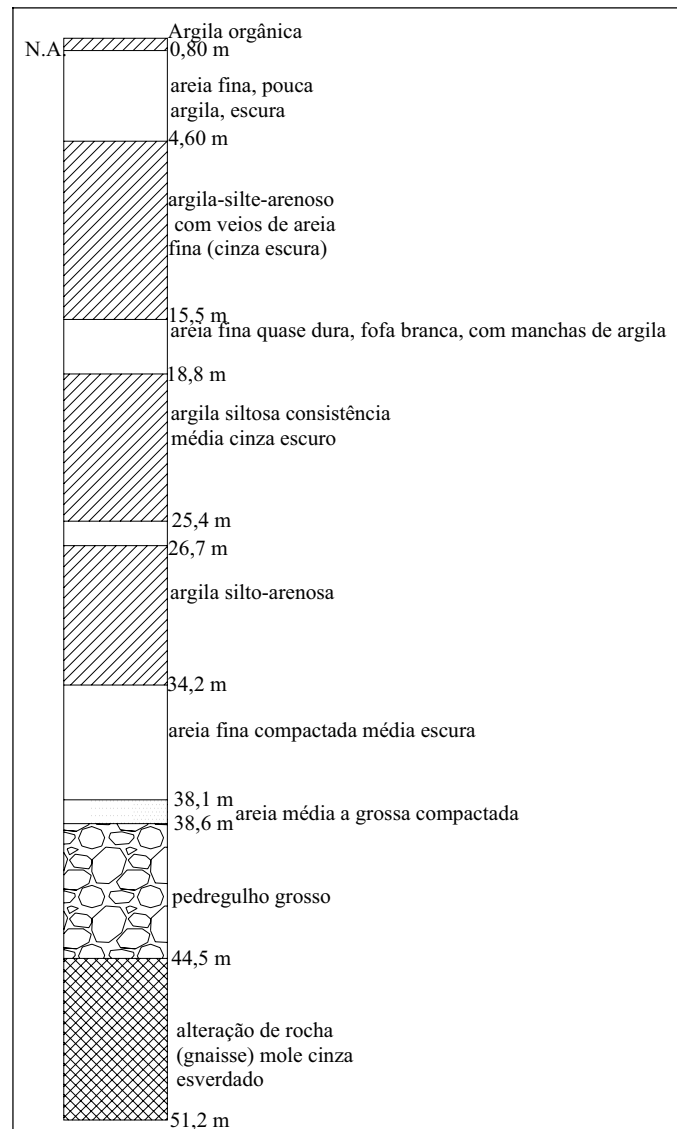


Figura 51: Perfil de sondagem no terreno da fundação da Ponte do Casqueiro (VARGAS, 1994).

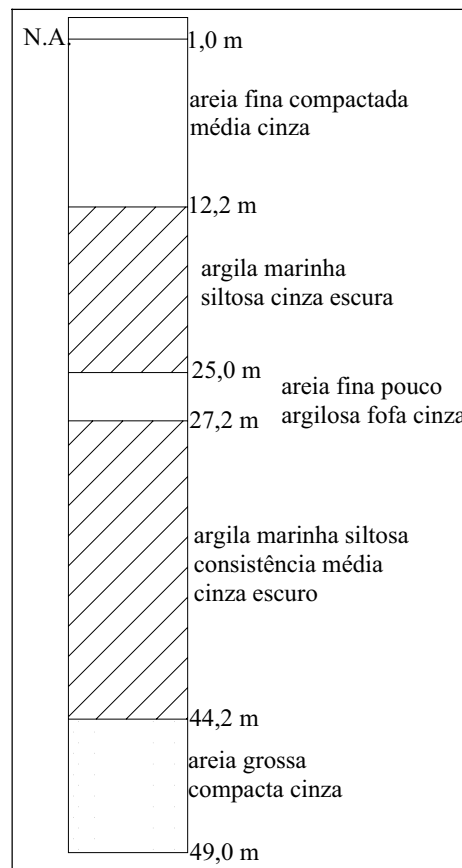


Figura 52: Perfil de sondagem na Praia José Menino – Santos (VARGAS, 1994).

Para o caso de porosidade por meio de discontinuidades, a permeabilidade varia de acordo com os seguintes elementos: orientação, abertura, rugosidade das paredes, preenchimento e espaçamento (densidade de fraturas).

Serra Junior e Ojima (1998) descrevem que o espaçamento corresponde à distância entre duas discontinuidades adjacentes de uma mesma família (Tabela 06). Em termos práticos, considera-se a distância entre duas discontinuidades contíguas.

Tabela 06: Espaçamento das discontinuidades (ABGE, 1983, apud SERRA JÚNIOR e OJIMA, 1998).

Siglas	Espaçamento (cm)	Denominações
E ₁	> 200	Muito afastadas
E ₂	60 a 200	Afastadas
E ₃	20 a 60	Medianamente afastadas
E ₄	6 a 20	Próximas
E ₅	< 6	Muito próximas

Já a rugosidade corresponde a ondulações nas superfícies das discontinuidades (Figura 53). A abertura corresponde à distância ortogonal entre as paredes das discontinuidades e pode variar com a profundidade (quanto mais profundo, menor será a abertura).

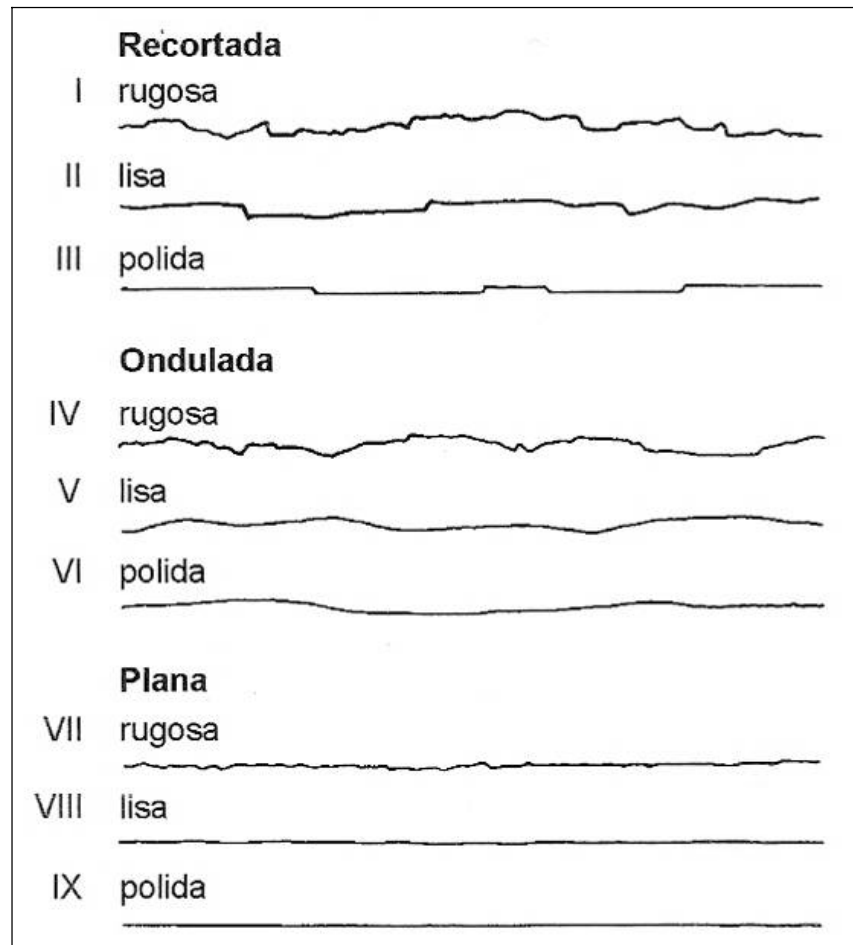


Figura 53: Perfis de rugosidade (BARTON et al., 1974, apud SERRA JÚNIOR e OJIMA, 1998).

O preenchimento consiste em materiais posteriores que são encontrados inseridos dentro das descontinuidades. Se estiverem totalmente preenchidas o valor da permeabilidade será muito menor e, conseqüentemente, o fluxo também (Tabela 07).

Tabela 07: Tipos de superfície e preenchimento de descontinuidades (IPT, 1984, apud SERRA JÚNIOR e OJIMA, 1998).

Siglas	Superfície das descontinuidades
D ₁	Contato rocha-rocha, paredes sãs
D ₂	Contato rocha-rocha, presença de material pétreo rijo Ca – Calcita Si - Sílica
D ₃	Paredes com alteração incipiente, sinais de percolação d'água, preenchimento ausente
D ₄	Paredes alteradas, preenchimento ausente
D ₅	Paredes alteradas, com preenchimento Ag1 – preenchimento argiloso com espessura de 1mm Gr10 – preenchimento granular com espessura de 10 mm

Cada característica individual influencia diferentemente na migração do óleo e combinadas vão determinar a exata condição de fluxo do fluido nas descontinuidades.

Uma maneira de quantificar os elementos das descontinuidades seria por meio de atribuição de pesos para cada elemento e para todas as características. Por exemplo, Azevedo

e Albuquerque Filho (1998) descrevem que abertura e rugosidade constituem os parâmetros mais importantes para o estudo do escoamento em meios fraturados.

Toma-se como exemplo a Figura 35, onde são apresentados os perfis de rugosidade. Pode-se atribuir pesos para as três classes (Recortada, Ondulada e Plana) e para as subclasses (Rugosa, Lisa e Polida). Assim, chega-se à Tabela 08:

Tabela 08: Correlação entre as classes de rugosidade e característica da parede.

	Rugosa (1)	Lisa (2)	Polida (3)
Recorta (1)	1	2	3
Ondulada (2)	2	4	6
Plana (3)	3	6	9

Sendo o valor 1 atribuído para caso menos impactante, e o valor 3 para o caso mais impactante (valor relativo de velocidade de migração do óleo sobre a superfície da parede da descontinuidade), tem-se que:

Valores 1-2: são paredes mais rugosas e recortadas, onde o contaminante vai ter uma velocidade de infiltração mais baixa;

Valores 6-9: as paredes são mais planas e polidas o que permitirá que o contaminante migre mais rapidamente em relação às paredes das classes 1-2;

Valores 3-4: podem ser considerados os valores intermediários de velocidade.

Este é um exemplo hipotético e está passível de ensaios e testes para dados mais precisos. Mas, mesmo simplificarmente, permitem uma rápida visualização dos casos mais ou menos graves no que tange à velocidade de espalhamento do contaminante pelo substrato e aquíferos cristalinos.

Assim, pode-se atribuir pesos para os outros parâmetros, como a densidade de fraturas (maiores densidades – peso maior), para o preenchimento (tipo, composição do material), para a orientação, entre outros.

A título de exemplo, são apresentados dados de atitudes dominantes de juntas nos domínios dos filitos e migmatitos homogêneos, informações essas apresentadas por Sadowsky (1974) (Tabela 09). Nota-se que, na última coluna da tabela, são descritos os tipos de processos que formaram tais juntas, sendo Juntas de Alívio (Al), P.A. – Conjunto de juntas – plano axial ou de transposição, T – Juntas de tração, S – Juntas de Cisalhamento.

As juntas de alívio e de tração podem ser mais permeáveis já que possuem uma tendência a serem juntas mais abertas e, portanto, com espaços vazios maiores, devido a seus processos de formação.

As juntas de tração são descontinuidades formadas por ações tectônicas de forças divergentes ou mesmo de tração. As juntas de alívio são formadas por retirada (erosão por longos períodos de tempo) de material sobrejacente, que implicava peso sobre as descontinuidades.

Tabela 09: Atitudes dominantes das juntas, obtidas na análise de 4 domínios distintos na área de estudos, por Sadowsky (1974).

Domínio	Direção	Mergulho	
C (filitos)	N40E	V	P.A. e Transposição
	N30E	26NW	Transposição
	N60W	V	T
	N15W	66SW	S
	EW	65S	S
C (Migmatito Homogêneo)	N55E	82NW a V	P.A. e Transposição
	N85W	20SW	Al
	NS	V	S
	N43W	80NE a V	T
	N70W	V	S

P.A. – Conjunto de juntas – plano axial ou de transposição T – Juntas de tração S – Juntas de Cisalhamento Al – Juntas de Alívio

Já, as juntas de cisalhamento são formadas por processos associados a fenômenos de transcorrência ou por forças cisalhantes.

Azevedo e Albuquerque Filho (1998) afirmam que, de modo geral, nos granitos e nas rochas de alto grau de metamorfismo, como gnaisses, migmatitos, granulitos etc., a permeabilidade tende a zero em profundidade, devido ao confinamento. Em superfície, por alívio de tensões, as fraturas se encontram mais abertas, resultando não só em um aumento da permeabilidade do maciço, como também no desenvolvimento de juntas de tração.

Azevedo e Albuquerque Filho (1998) descrevem que as rochas de médio a baixo grau metamórfico (xistos, filitos etc) apresentam um padrão de permeabilidade influenciado por diversos fatores. Verifica-se, em geral, um horizonte de rocha alterada bem desenvolvido e, embora a permeabilidade diminua com a profundidade, a diminuição não é tão pronunciada quanto aquela verificada nas rochas magmáticas intrusivas ou de alto grau metamórfico.

Refletindo sobre cada compartimento/unidade de análise pode-se destacar os seguintes tópicos:

No Planalto Paulistano: as fraturas e sistema de juntas são os principais condutores de água. No entanto, para se determinar com precisão os fluxos de água subterrânea, podem-se elaborar os mapas potenciométricos, com dados de poços, o que não foi possível devido à falta de dados de poços do local. Porém, toda a margem da represa do Rio das Pedras, voltada para o duto (SW), corresponde ao local onde pode ocorrer contaminação das águas e da

superfície do terreno, que afetaria várias formas de uso e ocupação do solo. As drenagens pela quais os dutos estão interceptando também são fontes potenciais de contaminação e locais que seriam afetadas primeiramente (como pode ser observado no mapa da Área de Influência). Também seriam atingidas áreas de bacias que formam o rio Cubatão, causando sua contaminação.

Na Serrania Costeira, o duto está exposto sobre a superfície e, no caso de haver vazamento, o óleo vai escoar sobre a superfície e atingir as duas pequenas bacias hidrográficas que estão exatamente ao lado do duto. Ocorrerá contaminação das plantas, água e solo, além de animais. Em outros locais na serra que foram considerados, porém, não são encontrados dutos, e podem ser trabalhados por situações hipotéticas.

Para as áreas de ocorrência dos milonitos (rochas que possuem sistema bem fraturado devido ao seu processo de formação), por exemplo, o intemperismo é mais intenso e as águas irão infiltrar com maior facilidade.

As rochas graníticas formariam solo de composição e textura mais arenosa, conseqüentemente, mais porosa e, assim, permitindo o fluxo de fluidos pelo seu interior.

Os sedimentos encontrados na área de Baixada Litorânea, principalmente os de composição arenosa, são compostos, basicamente, por grãos de areia, inconsolidados, são grandes reservatórios e possuem porosidade mais alta. Já, os sedimentos argilosos seriam menos permeáveis, porém, devido à grande concentração biológica, formam áreas muito sensíveis. Os ambientes em que são encontrados esses materiais são mangues, praias, aluviões de rios, costões rochosos etc. Poderiam ser realizados estudo de detalhe para determinação dos parâmetros geotécnicos dos solos ou de uma família de fraturas, sendo sugeridas escalas maiores que 1:10.000.

Também como sugestão de seleção de área para estudos de detalhe, utilizando escalas maiores pode-se considerar a área de influência do duto. Representaria o traçado do duto e apenas sua área de influência, que seria caracterizada com mais detalhes. Também poderia utilizar-se das divisões de relevo encontradas na área para separar setores de análise de detalhe.

Cabe aqui descrever que, apesar de se utilizar basicamente os mapas geológicos e de Compartimentação do Relevo, outro mapa produzido pela pesquisa e que também pode ser considerado importante, corresponde ao mapa da área de influência dos dutos, para o caso de acidentes com derramamentos de óleo. Este mapa confeccionado, apesar de não conter dados quantitativos, permite uma rápida visualização dos ambientes que podem ser atingidos em caso de vazamento de óleo.

9. QUADRO-SÍNTESE

O Quadro-síntese contém colunas e linhas para especificar as características de cada Unidade Geológico-geotécnica, os processos e comportamentos geotécnicos, e uma classificação para cada unidade quanto à presença das características dos materiais e dos processos e comportamentos.

O quadro-síntese é apresentado no Apêndice 07, na forma de uma ampla tabela. Nele também são correlacionadas as unidades de relevo, que ocorrem em cada Unidade Geológico-geotécnica, as litologias correspondentes e os principais processos geológicos atuantes e comportamentos geotécnicos esperados.

Para a última coluna do quadro-síntese é apresentada uma classificação baseada nas características do meio físico encontradas nas unidades e considerando-se a área de influência definida (Apêndice 06). Assim, tem-se que as áreas de influência direta dos dutos aliadas às mais as características que favorecem a migração do contaminante foram apontadas como as áreas mais sensíveis.

10. CONCLUSÕES

As características do meio físico descritas na literatura foram fundamentais para a realização da pesquisa já que puderam ser elencadas, de início, os elementos que são importantes e podem ser utilizados como critério para a elaboração dos índices de sensibilidade ambiental destas áreas nas Cartas SAO. Informações básicas sobre a porosidade, permeabilidade e heterogeneidade dos solos, as descontinuidades e suas características, tais como, abertura, espaçamento, rugosidade, etc são conceitos que podem ser encontrados na literatura e que podem ser aplicados nas cartas.

Com relação à área de estudo a grande variação nas características do meio físico colaborou para enriquecer a discussão sobre os comportamentos geotécnicos e processos geológicos descritos. Esta variação, que vai desde os tipos litológicos encontrados, tais como rochas metamórficas, depósitos sedimentares, além dos diversos tipos de perfis de solo e as formas e tipos de relevo encontrados, que combinados, adquire características próprias, compondo assim cenários de processos geológicos e/ou comportamentos geotécnicos ora específicos, ora comuns à combinação dos ambientes.

A área de influência adotada para a faixa de duto mostrou-se apropriada para esta pesquisa, já que incorpora os parâmetros do meio físico em seus critérios de delimitação e estipulação das áreas que são classificadas em influência direta, indireta e não-afetada por vazamento de óleo. Foram destacados os elementos importantes para a definição dos índices de sensibilidade ambiental, tais como, pontos notáveis, que vão desde travessia de rios, até locais com população residente próxima.

A principal fonte potencial de contaminação na área é representada pelos dutos ali instalados, pois estão sujeitos a ocorrência dos processos do meio físico atuantes, além dos comportamentos geotécnicos dos materiais, que podem vir a provocar avarias nas tubulações e até possíveis rompimentos das mesmas. Por isso, prever a ocorrência de tais processos, como erosões e escorregamentos, por exemplo, torna-se fundamental, não só pelo ponto de vista da proteção ambiental, mas também para evitar futuros custos como reparos e paralisação no fornecimento de óleo e gás para o mercado consumidor.

Os principais aspectos do meio físico que influenciam tanto na migração do óleo quanto nos elementos que trazem riscos à população são: as descontinuidades (orientação, abertura, preenchimento, espaçamento e rugosidade das paredes); solos e sedimentos: tamanho, diversidade, textura, arranjo dos grãos, composição; escoamento superficial: forma da encosta, declividade do terreno, tipo de substrato e cobertura vegetal; processos

geológicos: erosão hídrica, erosão fluvial, escorregamentos; comportamentos geotécnicos: solos com baixa capacidade de suporte e solos agressivos. Além destas características a água corresponde ao principal componente de transporte do contaminante.

O Mapa de Compartimentação do Relevo apresenta 12 divisões definidas pelas características do relevo e que foram divididas de acordo com características encontradas nas imagens aéreas (como rugosidade, densidade de drenagem e elementos do relevo), combinadas com as características descritas em literatura, como amplitude de relevo, densidade de drenagem, declividade e formas de vales. São encontrados três ambientes principais, sendo relevos de Planalto, Serra do Mar e da Baixada Litorânea, cada um com suas sub-zonas. Este mapa de características do relevo mostra-se importante para subsidiar à elaboração do Mapa Geológico-geotécnico, além de se extrair as informações do relevo que também podem ser utilizadas em Cartas SAO, tais como, a declividade, forma dos vales e vertentes.

O Mapa Geológico-Geotécnico apresenta a setorização em unidades baseadas nas informações dos compartimentos do relevo, das litologias e perfis de alteração. Apresentam 15 unidades, sendo 3 na área de Planalto, 6 na Serra do Mar e 6 na Baixada Litorânea. Também pôde ser descrita uma Unidade Especial, que corresponde aos Mananciais Hídricos, importantes fontes de abastecimentos de água para os municípios da região Metropolitana de São Paulo.

Com a combinação das informações descritas para cada Unidade Geológico-geotécnica e considerando-se as áreas de influências delimitadas apontou-se que as unidades afetadas por um vazamento de óleo seriam as seguintes: Unidades afetadas diretamente: UGG-01, UGG-02, UGG-04, UGG-05, UGG-09, UGG-11, UGG13 e UGG 15 e Unidade Especial; as Unidades afetadas indiretamente: UGG-03, UGG-10, UGG-12, UGG-14; Áreas não afetadas: UGG-06, 07 e 08, dada à suas posições em relação ao duto.

Dentro das unidades atingidas diretamente destaca-se que as Unidades Especiais (corpos d'água), UGG-04 e 05 onde encontram-se moradores dos bairros Cota, e UGG-11 podem ser consideradas áreas mais sensíveis, pois envolvem diretamente as pessoas ali residentes.

O Mapa da Área de Influência corresponde à visualização e a uma proposta de previsão de áreas que poderão ser, realmente, afetadas por um vazamento em qualquer ponto do duto em análise. Ressalta-se que estudos mais detalhados sobre os elementos do meio físico poderiam auxiliar na delimitação mais precisa desta área. De qualquer forma, este

cartograma baseou-se também nos fatores socioeconômicos e bióticos, importantes para a elaboração de Cartas SAO.

Como uma forma de sugestão pode ser indicada a quantificação de dados com ensaios de laboratório, por meio de ensaios granulométricos dos solos, análise da rugosidade das paredes das descontinuidades, etc. Também se sugere que este estudo seja realizado em áreas mais próximas dos dutos, uma vez que serão os locais primeiramente atingidos e com maior volume de contaminante.

Poderiam ser realizados estudo de detalhe para determinação dos parâmetros geotécnicos dos solos ou de uma família de fraturas, sendo sugeridas escalas maiores que 1:10.000.

Também como sugestão de seleção de área para estudos de detalhe, utilizando escalas maiores pode-se englobar a área de influência do duto. Representaria o traçado do duto e apenas sua área de influencia seria caracterizada com mais detalhes. Também poderia utilizar-se das divisões de relevo encontradas na área para separar setores de análise de detalhe, onde cada qual com suas características seriam avaliados e ensaiados de acordo com as necessidades do trabalho.

O Quadro-síntese é um importante auxílio visual e operacional dos trabalhos, já que contém um resumo de todo o resultado do trabalho, além de apresentar uma coluna classificando as unidades geológico-geotécnicas quanto à sensibilidade do ambiente, mesmo que os critérios utilizados sejam valores relativos e comparativos entre as próprias unidades.

11. REFERÊNCIAS

- ABRAMENTO, M.; SOUZA PINTO, C. Resistência ao cisalhamento de solo coluvionar não-saturado das encostas da Serra do Mar. **Solos e Rochas**, São Paulo, v.16, nº 3, p:145-158, 1993.
- AB'SABER, A.N. Serra do Mar e o Litoral de Santos. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v.9/10, p:70-77, 1962.
- AB'SABER, A.N. A Evolução Geomorfológica. In: AZEVEDO. **A Baixada Santista: Aspectos Geográficos**. São Paulo, 1965. Vol 1, Cap. 2, p:49-66.
- AB'SABER, A.N.; HOLMQUIST, C. **Litoral do Brasil (Brazilian Coast)**. São Paulo: Metavideo Produção e Comunicação, 2003. 288p.
- AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA – AGEM. **Santos** (Município). Disponível em: <www.metro.santos.sp.gov.br>. Acesso em: 14 de novembro de 2005.
- AGUIAR, R.L. **Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal - DF**. São Carlos, SP. 88p. (Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos/USP). 1994.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: **CONFERENCIA BRASILIRIA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS**, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992, v.2, p:723.
- ALMEIDA, F.F.M. Considerações sobre a Geomorfogênese da Serra do Cubatão. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 15, p: 3 - 17, 1953.
- ALMEIDA, F.F.M. de. **Fundamentos geológicos do relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, Série Teses e Monografias, n. 14, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p: 135-150, 1998.
- ARAÚJO, S.I. de; SILVA, G.H. da; CARVALHO, M.T.C. Mapas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo no Sistema Petrobrás. In: **SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORAMENTO REMOTO**, 2, 2004, Aracaju. Anais... Aracaju, 2004.
- AZAMBUJA, E.; CANCELIER, D. B.; NANNI, A. S. **Contaminação dos Solos por LNAPL: Discussão sobre Diagnóstico e Remediação**. Disponível em: <<http://www.azambuja.com.br/acervo/geosul2000.pdf>>. Acesso em 13 set. 2002.
- AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Águas Subterrâneas. In: OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap 8, p.113–130.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (Cartas SAO)**.

Brasília: Secretária de Qualidade ambiental nos assentamentos humanos – Programa de proteção e melhoria da qualidade ambiental - Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiros, 2002. 22p.

BRANCO, M. B. et al.; **Hidrologia Ambiental**. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3). São Paulo: EDUSP. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

BITAR, O.Y.; FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T.O.; LEITE, C.A.G.; GALVES, M.L.; VASCONCELOS, M.M.T. **O meio físico em estudo de impacto ambiental**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. (Publicação IPT; n° 1823). 1990.

CABRAL, J. Movimento das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A.; C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. Cap. 3. p:35 – 51.

CERRI, L.E.S. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. **Anais ...** Salvador: ABGE, 1990. V.1, p: 309-317.

CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta metodológica para prevenção de acidentes**. 1993. 197p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista - Unesp), Rio Claro, 1993.

CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de Detalhamento Progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8. 1996. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996. V.2, p: 537-548.

CHOW, C.K.R. **Análise de riscos em dutovias**. 2003. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. 149p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo: Balneabilidade das Praias**, 2003. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. **Emergências químicas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/introducao.asp>>. Acesso em 05 jun. 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. **Emergências químicas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/a_fisicos.asp>. Acesso em 11 dez. 2006.

CRUZ, O. Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 8/10/11, n. 1, p. 9-20, 1990.

CULHARI, T.M. **Contribuições a avaliação de impactos no meio físico, em estudos ambientais, anteriores à implantação de minerações**. 2005. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro. 2005, p 43.

DOMINGUES, E.N. Caracterização das feições erosivas e relações com o meio hidrobiofísico em áreas impactadas da Serra do Mar, na região de Cubatão (SP). **Geociências**, São Paulo, v.20, n.1, p: 61-71, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA Programa: **O Brasil Visto do Espaço**. Disponível em: <http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br/sp/html/sp23_30.htm> Acesso em 10 dez. 2006.

FEITOSA, F. A.. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. Cap. 2. p: 13 – 33.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L.V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os componentes do meio físico. **Geociências**, São Paulo, v. 17, n.2, p:527-557, 1998.

FLORENÇANO, C. A Serra do Mar e a Mata Atlântica em São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 4 p: 61 - 69, 1950.

FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T.O.; GALVES, M.L.; BITAR, O.Y.; AMARANTE, A. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo: IPT, 1992. 165p. (IPT – Publicação, 1972 – Boletim, 61).

FREITAS, C.G.L. de. **Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica**. 2000. 230p. Tese (Doutorado em Geografia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo - SP). São Paulo, 2000.

GIBOTTI, M. J. **Subsídios geológico-geotécnicos para a implantação de tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis**: estudo de caso em um solo da Formação Rio Claro (SP). 1999. 95p. Rio Claro. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista), Rio Claro, 1999.

GOLDENSTEIN, L. Cubatão e sua área industrial. In: Azevedo, A. (org.). **A Baixada Santista: aspectos geográficos**. São Paulo: EDUSP, 1965. v.4.

HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; MORALES, N. Geologia do Pré-Cambriano. In: **Solos do Litoral Paulista**. São Paulo: ABMS, 1994. p: 41-68.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Boletim IG**, São Paulo, v. 6, n. 3, p: 182-200, 1976.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 9, p:131 – 152.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000..** São Paulo, 1981a. v. 1 e 2.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1:500.000..** São Paulo, 1981b.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Programa Serra do Mar – levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo.** Anexo A – Estudos geológicos e geomorfológicos. São Paulo, 1986. v. 2, 120p. Relatório 23.394.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY - IAEG. **Engineering geological maps: a guide to their preparation.** Paris: Unesco Press, 1976. 79p.

LOLLO, J. A.; ZUQUETTE, L. V. **A técnica de avaliação do terreno e suas possibilidades de aplicação no mapeamento geotécnico: exemplo de um sistema de terreno identificado na região de São Carlos (SP).** Geociências, São Paulo, 15 (1): 147-161, 1996.

MACHADO FILHO, J. G. **Estabilidade de encostas e condicionantes geológicos, geomorfológicos e estruturais, num trecho da serra de Cubatão.** Dissertação (Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências Universidade de São Paulo). São Paulo, 2000. 172p.

MAGALHÃES, F.S.; CELLA, P.R.C. Estrutura dos Maciços Rochosos. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE. Cap. 03, p: 38-55, 1998.

MANCINI, T.M. **Métodos de caracterização de áreas potencialmente contaminados por hidrocarbonetos de petróleo.** Trabalho de Formatura. Instituto de Geociência e Ciências Exatas – IGCE – Unesp/Rio Claro. Rio Claro, 2002.

MANOEL FILHO, J. Água Subterrânea: Histórico e Importância. In: FEITOSA, F.A.. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. Cap. 1. p. 02 – 13.

MASSAD, F. Baixada Santista: Implicações da História Geológica no Projeto de Fundações. **Solos e Rochas**, São Paulo, v.22, n.1, p: 3-49, 1999.

MASSAD, F. **Escavações a céu aberto em solos tropicais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 96p.

MENDES, R.F.; MINNITI, V.; LOPES, C.F.; MILANELI, J.C.; TORRES, C.; YOGUI, R.; GABRIELA RODRIGUES, G.; MARIZ, E. **M.A.R.A.: Elaboração de Metodologia para Análise dos Riscos Ambientais.** Rio de Janeiro: *Rio Pipeline Conference & Exposition*, 2005. p:1-8.

MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Geografia, 1973.

MOREIRA, C.V.R.; PIRES NETO, A.G. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap 5, p.68–85.

NEIVA, J. **Conheça o Petróleo**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1986, 306p.

PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. Caracterização e classificação de solos. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap 12, p.197 – 210.

PEREIRA, L.C. **Aptidão Agrícola das Terras e Sensibilidade Ambiental: Proposta Metodológica**. 2002. 98p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, na área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável). Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 98p.

RIBEIRO, R.R. **Evolução Geomorfológica da Serra de Cubatão, em São Paulo**. 2003. 122p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 122p.

ROSS, J.L.S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.9, p:65-75, 1995.

SADOWSKI, G.R. **Tectônica da Serra de Cubatão**. 1974. Tese (Doutorado em Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

SADOWSKI, G. Megafalha de Cubatão no Sudeste Brasileiro. **Boletim do Instituto de Geociências**. Série Científica, São Paulo, v. 22, p:15-28, 1991.

SALOMÃO, F.X.T.; ANTUNES, F. S. Solos em pedologia. In: OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Cap. 6, p: 87 – 99, 1998.

SANTOS, A.R. **Fundamentos filosóficos e metodológicos da Geologia de Engenharia**. São Paulo. Publicação IPT, 1994. 5p. (Comunicação Técnica n° 2088).

SANTOS, A.R. **Geologia de Engenharia: Conceitos, métodos e prática**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002 (Publicação IPT n° 2797).

SANTOS, A.R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

SANTOS, A. R. **Escorregamentos na Serra do Mar: Tragédia Anunciada**. 2006. Disponível em <<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&cd=700>>. Acesso em 11 maio 2006.

SANTOS (Município). **Região Metropolitana da Baixada Santista**. Disponível em <www.metro.santos.sp.gov.br>. Acesso em 14.11.2005.

São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. 2006. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/ppma/unicuba.htm>>. Acesso em 11 maio 2006.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L.M. Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, 1998. Cap. 13, p: 211-226.

SILVA, G.H.; ARAÚJO, S.I. Gerenciamento de derrames de petróleo: sensibilidade ambiental x suscetibilidade ambiental x vulnerabilidade ambiental. In: **ENCOCERCO**, 2. Salvador, 1994.

SUGUIO, K.; E MARTIN, L. Mecanismos de gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. 1976. **Anais...** Ouro Preto: SBG, v.1, p:295-305, 1976.

TAGLIANI, C.R.A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. **Galeria de artigos acadêmicos**. Fundação Universidade Federal de Rio Grande – FURG, 2002.

TEXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. DE; MELFI, A. J. Intemperismo e Formação do Solo. In: TEXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 8, p: 139-166.

VARNES, D.J. **The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering.** *Professional Paper 837*, U.S. Geological Survey, 1974. 48p.

VARGAS, M. História dos conhecimentos geotécnicos: Parte 2 – Baixada Santista. In: **Solos do Litoral Paulista**. São Paulo: ABMS, 1994. p: 17-40.

VARGAS, M. Revisão Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar. **Solos e Rochas**, São Paulo, v.22, n.1, p: 53-83, 1999.

VAZ, L. F. Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração de Rocha em Regiões Tropicais. **Solos e Rochas**, v. 19, n. 2, p: 117 – 136, 1996.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação**. 2000. Tese (doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VEROCAI, I. **Dicionário básico de meio ambiente**. Disponível em: <http://www.redeambientalrj.org.br/dic_amb_08.12.2001>.

YAMADA, D. T. **Caracterização geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP)**. 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004. 122p.

ZAINE, J.E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio da sistemática do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. 149p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. 1987. Tese (Doutorado pela Escola de Engenharia de São Carlos). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In. OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Ed). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE. Cap. 17, p: 283-300, 1998.

WOLLE, C.M.; CARVALHO, C.S. Taludes Naturais. In: FALCONI, F.F.; NEGRO JUNIOR, A. **Solos do litoral de São Paulo**. São Paulo: ABMS, 1994, p: 179-203.