

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

CRISTIANE ALESSANDRA DE MOURA

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE DO MEIO FÍSICO A
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA POR MEIO
DE SISTEMATIZAÇÃO DE ZONEAMENTO
GEOAMBIENTAL

Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof^º Dr^º Jairo Roberto Jimenez-Rueda

Rio Claro - SP
2014

CRISTIANE ALESSANDRA DE MOURA

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE DO MEIO FÍSICO A
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA POR MEIO
DE SISTEMATIZAÇÃO DE ZONEAMENTO
GEOAMBIENTAL

Tese apresentada ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do
Campus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutora em Geociências e Meio
Ambiente.

Resultado: **APROVADA**

Comissão Examinadora

Prof^o Dr^o Jairo Roberto Jimenez-Rueda

Prof^o Dr^o Juércio Tavares de Mattos

Prof^o Dr^o Archimedes Perez Filho

Prof^a Dr^a Cenira Maria Lupinaccci da Cunha

Prof^o Dr^o Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro, SP 27 de maio de 2014.

551.4+
M929a Moura, Cristiane Alessandra de
 Análise da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais
de massa por meio de sistematização de zoneamento geoambiental /
Cristiane Alessandra de Moura. - Rio Claro, 2014
 151 f. : il., figs., tabs., quadros, fots., mapas

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Jairo Roberto Jimenez-Rueda

 1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Mapeamento. 3. Análise
integrada. 4. Morfotectônica. 5. Morfoestrutural. 6. Suscetibilidade. 7.
Caraguatatuba. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

AGRADECIMENTOS

A minha admiração, gratidão e os meus sinceros e especiais agradecimentos ao Prof. Dr. Jairo Roberto Jimenez-Rueda, pela oportunidade, confiança, amizade, paciência e compreensão que muito auxiliou para a realização deste trabalho.

De igual modo, agradeço toda a confiança demonstrada pelo Prof. Dr. Juércio Tavares de Mattos, pelo carinho, paciência e amizade, desde a graduação.

Aos professores do DEPLAN Prof^a Dr^a Cenira Maria Lupinaccci da Cunha e Prof^o Dr^o Sergio dos Anjos Ferreira Pinto, agradeço as contribuições generosas a esta pesquisa, como também agradeço as boas experiências alcançadas durante o estágio de docência.

Ao meu amigo Pr^o Dr^o Roberto Marques Neto que com generosidade contribuiu com este trabalho.

Aos meus familiares e em especial a minha mãe, pelo amor carinho, e apoio durante esse período.

A todos os meus amigos que amenizaram com sua presença os momentos difíceis.

Ao meu amado, amigo, companheiro Franz Eric de Góes Cressoni, obrigada pelo apoio e por sempre acreditar em mim. Todo caminho fica mais belo ao seu lado.

À CAPES pela concessão de bolsa durante o período de realização do doutorado.

À todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A presente tese teve como objetivo principal contribuir com uma sistematização metodológica para caracterização e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa. Para isto realizou-se a integração dos seguintes métodos: zoneamento de unidades geoambientais, fotointerpretação, análise morfométrica do relevo, análise morfoestrutural (deformação dúctil) e análise morfotectônica (deformação rúptil). Dessa integração de técnicas obtivemos a classificação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa. A análise morfoestrutural permitiu identificar locais com comportamentos ambientais bem específicos (infiltração ou acúmulo de água) de interesse da pesquisa. A análise morfotectônica determinou áreas com maiores deformações, nas quais ocorre intensa infiltração e circulação das águas e, portanto, são propícios a uma intensa intemperização das rochas. O produto de síntese obtido desta integração foi o Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa, o qual demonstrou ser eficiente na detecção destes fenômenos, pois permitiu identificar as áreas mais propensas a serem afetadas por eles.

Palavras-Chave: Análise integrada do meio físico, Morfotectônica, Morfoestrutural, Suscetibilidade e Caraguatatuba.

ABSTRACT

This thesis aimed to contribute with a methodological systematization to characterize and map areas of landslide susceptibility through the integration of the following methods: geoenvironmental mapping, photo interpretation, morphometric analysis of relief, morfostructure analysis and fracture map. This integration led to the classification of the landslide susceptibility of the physical environment. The morfostructural analysis allowed for the identification of sites with very specific environmental behavior (water infiltration or accumulation) of interest to this research. The fracture mapping identified areas with larger tectonic deformation in which intense infiltration and circulation of water occurs and, therefore, is ideal for an intense weathering of rocks. The synthesis product obtained through this integration was the Landslide Susceptibility Map of the physical environment, which was efficient in the detection of these phenomena, since it led to the identification of areas with greater tendencies to be affected by them.

Keywords: Integrated analysis of the physical environment, fracture map, morfostructure, susceptibility and Caraguatatuba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pluviograma de precipitação diária para os meses de março de 1966/1967/1968 (Fonte: SigRH-SP acesso junho/2013).....	4
Figura 2. Foto de Escorregamentos Rodovia Tamoios em função do evento de 1967. Fonte: A- Arquivo Estadão/1968 e B-Google Earth data: 23/08/2011.....	5
Figura 3 - Localização da área de estudo formada pelos planaltos serranos e escarpas costeiras da Serra do Mar localizadas dentro das cinco bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba.	10
Figura 4. Climograma da média mensal de chuva total e temperatura média mês em Caraguatatuba entre 01/06/2006 a 01/08/2012. Fonte: CIIAGRO.....	11
Figura 5. Atuação das massas de Ar no Estado de São Paulo, nos meses de Janeiro e Julho. Fonte: Monteiro, 2000.....	12
Figura 6. Representação do Mapa de compartimentos do relevo da área de estudo (Modificado de Campanha et al. 1994).....	16
Figura 7. Representação do Mapa geológico da área de estudo. Modificado de Campanha et al.1994.....	19
Figura 8. Representação do Mapa das Bacias Hidrográficas da Planície Sedimentar de Caraguatatuba.	21
Figura 9. Perfil longitudinal das bacias hidrográficas elaborados no Global Mapper 11.....	22
Figura 10. Vista do morro do Jaraguá após evento climático de 1967(A) e atualmente(B). Fonte: A- Arquivo Estadão/1967 B-Google Earth data: 04/03/2009.	25
Figura 11. Rio Santo Antônio. Fonte: A- Arquivo Estadão/1967 e B-Google Earth data: 04/03/2009.	26
Figura 12. Local de desaguamento da bacia do Córrego Jundiá na enseada de Caraguatatuba. Foto:CAM.	28
Figura 13. Foz do Rio Guaximduba. Foto:CAM.....	29
Figura 14. Bairro Martins de Sá, planície da Bacia do Rio Guaxinduba. Foto:CAM.	29

Figura 15. Feições que indicam a ocorrência dos movimentos gravitacionais na área de estudo. Foto:CAM.	38
Figura 16. Influência da distribuição espacial das discontinuidades em maciços rochosos nos tipos de ruptura (Hoek e Bray, 1981).....	40
Figura 17. Etapas e procedimentos para elaboração do Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.	54
Figura 18. Representação do Mapa de Classes de Declividade.....	60
Figura 19. Representação do Mapa de Orientação de vertentes.....	61
Figura 20. Localização do Trópico de Capricórnio em relação a área de estudo. Fonte: Google earth.	62
Figura 21. Representação do Mapa de densidade de pontos de nascentes. ...	64
Figura 22. Localização de afloramentos de nascentes identificados na Escarpas da Serra do Mar. Foto:CAM.....	65
Figura 23. Imagem do Google earth de afloramentos de nascentes identificadas na Escarpas presentes na bacia hidrográfica 5.....	66
Figura 24. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para Tropia.	68
Figura 25. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para alterabilidade.	70
Figura 26. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para permeabilidade.	71
Figura 27-Esquema em corte transversal das possíveis associações entre morfoestrutura e topografia. Fonte: Caetano, 2006.....	73
Figura 28. Drenagem adensada da área de estudo para análise morfoestrutural.	76
Figura 29. Determinação dos Máximos 1 e 2 de traços de juntas.	82
Figura 30. Variação das direções na ZVM 1, número 4.....	82
Figura 31. Distribuição das Unidades Geoambientais mapeadas de acordo com suas dimensões.	87
Figura 32. Detalhe da compartimentação das Unidades Geoambientais.....	88
Figura 33. Representação do Mapa de Lineamentos estruturais, traços de juntas e cruzamentos de lineamentos.....	92
Figura 34. Diagrama de Rosetas dos Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas.	93

Figura 35. Representação do Mapa de densidade de lineamentos estruturais	94
Figura 36. Representação do Mapa de densidade de traços de juntas	95
Figura 37. Representação do Mapa de densidade de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais.	96
Figura 38. Rosetas de frequência absoluta das bacias hidrográficas.	98
Figura 39. Mapa de Zonas de variação de máximos 1 e 2 e Zonas Críticas. .	100
Figura 40. Direções principais das ZVM1 e ZVM2.....	100
Figura 41. Mapa de inventário de cicatrizes de escorregamento obtidas nas ortofotos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA, (2000).	103
Figura 42. Distribuição das cicatrizes de escorregamentos por Zonas (A) e Subzonas (B).....	104
Figura 43. Associação entre os fatores considerados na fotointerpretação e as cicatrizes de escorregamentos mapeadas.	105
Figura 44. Associação entre os fatores considerados na análise morfométrica do relevo e as cicatrizes de escorregamentos mapeadas.....	107
Figura 45. Fórmula utilizada para a avaliação da suscetibilidade do meio físico das unidades geoambientais.	108
Figura 46. Detalhe da Classificação da Suscetibilidade Do meio físico executada no ArcMap 9.3.	109
Figura 47. Mapa de Suscetibilidade do meio físico a Movimentos gravitacionais de massa.....	110
Figura 48. Gráfico da distribuição das cicatrizes de escorregamentos entre as classes de suscetibilidade do meio físico.	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Trabalhos desenvolvidos a partir da sistemática de Zoneamento Geoambiental.	33
Quadro 2. Classificação dos movimentos gravitacionais de massa. Modificado de Santos, (2004).	37
Quadro 3. Definição dos termos utilizados na fotointerpretação.	42
Quadro 4. Propriedades das formas texturais em imagens de satélite. Fonte: Veneziani, 1982.	43
Quadro 5. Elementos componentes do meio físico analisados e aspectos considerados na fotointerpretação.....	44
Quadro 6. Etapas da sistemática de elaboração de Zoneamento Geoambiental.	48
Quadro 7. Fatores a serem considerados de acordo com a aplicação do zoneamento.	50
Quadro 8- Agentes e causas de movimentos de massa (Guidicini e Nieble, 1984).	57
Quadro 9. Classes estabelecidas para orientação das vertentes.	63
Quadro 10. Aplicação da relação entre morfoestrutura e morfometria para caracterização ambiental. Fonte: Jiménez-Rueda et al., (1993) modificado por Shimbo, (2006).	74
Quadro 11. Aplicação da relação entre morfoestrutura e morfometria para análise de múltiplos usos e suporte ambiental. Fonte: Jiménez-Rueda et al., (1993) modificado por Shimbo, (2006).	75
Quadro 12. Detalhe da Compartimentação das Unidades Geoambientais.	86
Quadro 13. Direções principais dos Lineamentos estruturais e Traços de Juntas das bacias hidrográficas da área de estudo.....	97
Quadro 14. Pesos e valores atribuídos a cada fator de análise para determinação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa das unidades geoambientais.	108
Quadro 15. Legenda do Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa	112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Justificativas	7
1.3 Objetivos	7
1.4 Hipótese.....	8
2. ÁREA DE ESTUDO	9
2.1 Localização.....	9
2.2 Clima.....	11
2.3 Geomorfologia	14
2.4 Geologia	18
2.5 Bacias Hidrográficas da Planície Sedimentar de Caraguatatuba	21
2.5.1 Bacia do Rio Juqueriquerê	23
2.5.2 Bacia do Rio da Lagoa	24
2.5.3 Bacia do Rio Santo Antônio	25
2.5.4 Bacia do Córrego Jundiá	27
2.5.5 Bacia do Rio Guaxinduba.....	28
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
3.1 Zoneamentos Geoambientais.....	30
3.2 Movimentos gravitacionais de massa.	34
3.2.1 Condicionantes geológicos	39
3.3 Análise e interpretação de imagens.....	41
4. MATERIAIS E TÉCNICAS.....	45
5. MÉTODOS	47
5.1 Etapas da sistematização do Zoneamento geoambiental.....	47
5.2 Fluxograma do zoneamento geoambiental organizado na tese	53
5.3 Compartimentação das Unidades Geoambientais.....	55

5.4 Fatores predisponentes utilizados na classificação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa das Unidades Geoambientais	56
5.4.1 Análise morfométrica do relevo	57
5.4.2 Interpretação de imagens.....	66
5.5 Análise Morfoestrutural (Deformações Dúcteis)	71
5.6 Análise Morfotectônica (Deformações Rúpteis)	76
5.6.1. Lineamentos Estruturais.....	78
5.6.2 Traços de Juntas.....	79
5.6.3. Mapas de Densidade de Lineamentos Estruturais, Traços de Juntas e cruzamentos de Lineamentos Estruturais	80
5.6.4 Mapa de Zonas de Variação de Máximos(ZVM) 1 e 2 de Traços e juntas e Zonas Críticas(ZC)	81
5.7 Mapa de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.	83
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
6.1 Compartimentação das Zonas, Subzonas e Unidades Geoambientais ..	85
6.2 Análise Morfoestrutural.....	89
6.3 Análise Morfotectônica.....	90
6.3.1 Mapa de Lineamentos Estruturais, Traços de Juntas e Cruzamentos de Lineamentos Estruturais.....	91
6.3.2 Mapas de densidades de lineamentos estruturais e de traços de juntas.....	94
6.3.3 Mapa de densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais.....	96
6.3.4 Direções preferenciais dos Traços de Juntas nas bacias hidrográficas.....	97
6.3.5 Mapa de Zonas de Variação de Máximos(ZVM) 1 e 2 de Traços de juntas e Zonas Críticas.....	99
6.4 Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.	102

6.4.1	Elaboração de inventário de cicatrizes de escorregamento	102
6.4.2	Validação dos resultados e escolha de pesos e valores para fatores	104
6.4.3	Classificação de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.....	108
7.	CONCLUSÃO	113
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
9.	APÊNDICES	130

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Devido aos sucessivos incidentes catastróficos envolvendo escorregamentos de solo e rocha no Brasil, diversas metodologias têm sido desenvolvidas para análise, previsão e gerenciamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa no Brasil, tais como: análise baseada em inventários de cicatrizes e depósitos para delinear as áreas críticas à ocorrência de movimentos de massa em que a sua distribuição no campo sugere futuros padrões de instabilidade no relevo, como também as baseadas em avaliações estatísticas de correlação entre certos atributos morfológicos e de uso da terra.

Na Serra do Mar ocorrem esporadicamente deslizamentos de encostas desencadeados por eventos climáticos de alta intensidade. Os deslizamentos são fenômenos naturais e atuam conjuntamente como o intemperismo e a erosão na dinâmica de modelagem da superfície terrestre. No entanto a intervenção humana potencializa e acelera esses processos naturais. Na presente tese buscou-se contribuir com uma sistematização metodológica para caracterização e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa.

A escolha do município de Caraguatatuba como área de estudo nesta tese deveu-se ao fato deste município ser considerado pelo CEMADEN (Centro

Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) como um dos cinquenta e seis municípios prioritários para monitoramento de desastres das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Isto ocorre em decorrência do município de Caraguatatuba possuir uma configuração bastante complexa de seus elementos ambientais tais como: declives acentuados, umidade e calor elevados, escoamento superficial e subsuperficial, rocha alterada, formações superficiais espessas, a mamelonização das formas, grande volume de vegetação e acelerada atividade de organismos, ou seja, todos atributos que garantem uma elevada velocidade das reações químicas (CRUZ, 1974). Junte-se a isso o elevado controle estrutural proporcionada pela Zona de Cisalhamento Camburu.

As condições geológicas e geomorfológicas da área de estudo são fatores predisponentes à ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos. As condições climáticas, com períodos de chuvas intensas e prolongadas, complementam o quadro de predisposição ao desenvolvimento de processos geodinâmicos de caráter superficial, principalmente escorregamentos, erosão e movimentação de materiais rochosos, que se manifestam durante a estação chuvosa.

Em consequência da configuração ambiental anteriormente exposta a sistematização de uma metodologia de zoneamento geoambiental para ambientes com características similares as existentes no ambiente Tropical Atlântico em Caraguatatuba -mais especificamente na Serra do Mar- é extremamente relevante e justificada.

Em 18 de março de 1967 o município de Caraguatatuba foi devastado por um dos piores eventos climáticos anômalos registrados no Brasil. Este evento causou grandes enchentes e uma sequência de deslizamentos na Serra do Mar, decorrentes de uma anomalia positiva de precipitação que provocou segundo registros jornalísticos da época, a morte de mais de 400 pessoas, além de grandes prejuízos à infraestrutura e à economia local.

Segundo Cruz (1974), este evento foi decorrente de um conjunto de perturbações atmosféricas em diversos níveis e está relacionado a sistemas frontais que somados às condensações orográficas características do relevo da

região geraram elevados índices pluviométricos anormais que provocaram o limite de encharcamento do solo e, conseqüentemente, o deslizamento das encostas. Nos dias que antecederam esse evento ocorreram chuvas e chuviscos contínuos em Caraguatatuba, mas dentro dos índices de precipitação diária normais para o período. Esses índices não causaram, mas contribuíram para que ocorresse esse evento.

Segundo Macedo, et al. (2004), o estado de atenção em uma região inicia-se no caso do acúmulo de chuvas atingirem mais de 120 milímetros em 72 horas, além da previsão de chuvas com tendência de longa duração. No evento climático de 1967 esse acúmulo chegou a 240 mm em menos de 24 horas, após uma sequência de 10 dias consecutivos de chuvas. Os valores de precipitação registrados podem ser comparados aos dos anos 1966 e 1968 (figura 1). O evento climático extremo de 1967 tratou-se de um evento climático anômalo dentro do contexto regional.

Na figura 1, podemos observar o gráfico dos dados pluviométricos coletados no posto de coleta E2-046 de Caraguatatuba - vertente Atlântica, localizado a 20 m de altitude, com coordenadas 23°38'45"26' - no mês de março nos anos de 1966, 1967 e 1968. Ao analisar o pluviograma para o mês de março da região de Caraguatatuba destaca-se a anomalia do evento de 1967. Pode-se afirmar que o impacto de um evento como este teria conseqüências muito mais graves atualmente devido a crescente urbanização no município de Caraguatatuba, que ao invés dos 10 mil habitantes existentes na época do evento, possui presentemente cerca de 100 mil habitantes permanentes, dentro de um modelo de crescimento desordenado, com diversos problemas urbanos como: ocupação em áreas de risco, falta de infraestrutura urbana básica, entre outros problemas.

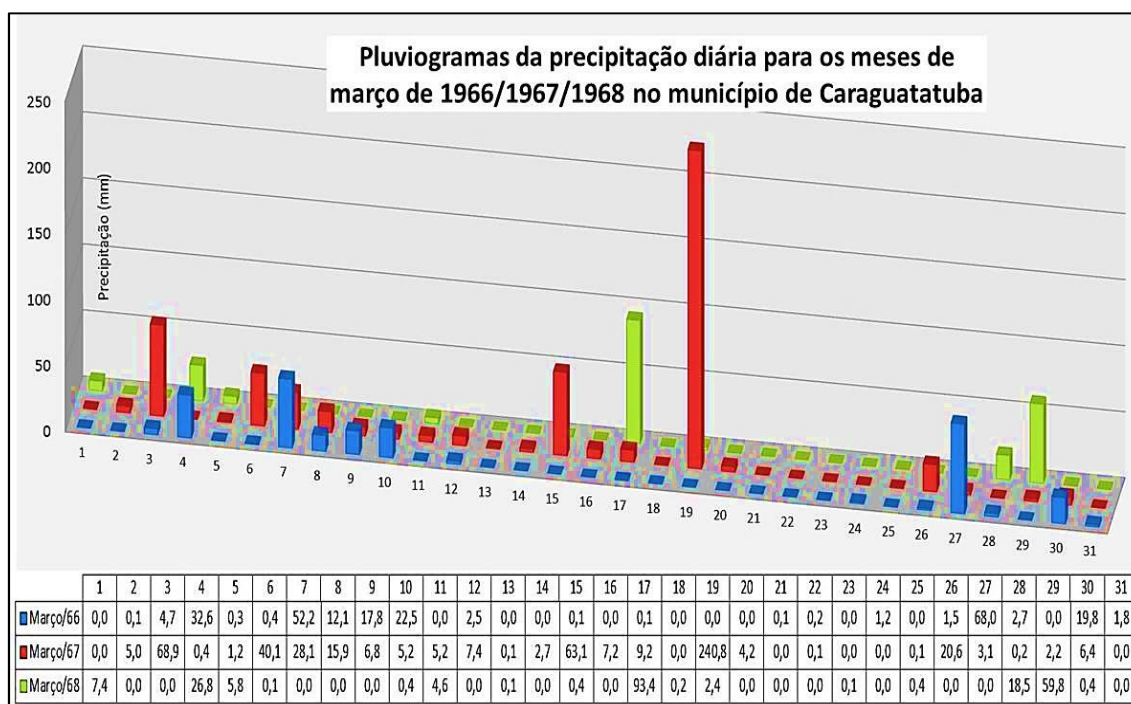


Figura 1. Pluviograma de precipitação diária para os meses de março de 1966/1967/1968 (Fonte: SigRH-SP acesso junho/2013).

Na figura 2.A observa-se um trecho da Rodovia Tamoios, onde ocorreu uma sequência de escorregamentos em março de 1967. Neste exemplo é possível identificar as consequências da quebra do equilíbrio ecodinâmico da paisagem causado pela concentração de dias chuvosos em março de 1967. Ao analisar-se a imagem do ano de 2011 (figura 2.B), nota-se que apesar de ter ocorrido alguma restauração na paisagem, as cicatrizes de escorregamento ainda são bastante evidentes no local.

A dinâmica ambiental em áreas de escarpas da Serra do Mar é intensificada nas áreas do sudeste do Brasil sujeitas aos sistemas atmosféricos tropicais úmidos, pois é comum o estacionamento de frentes nesta região intensificando a dinâmica das vertentes. Os demais elementos envolvidos na dinâmica ambiental dessa área também são muito complexos, com destaque aos aspectos tectônico-estruturais e a morfometria das vertentes.

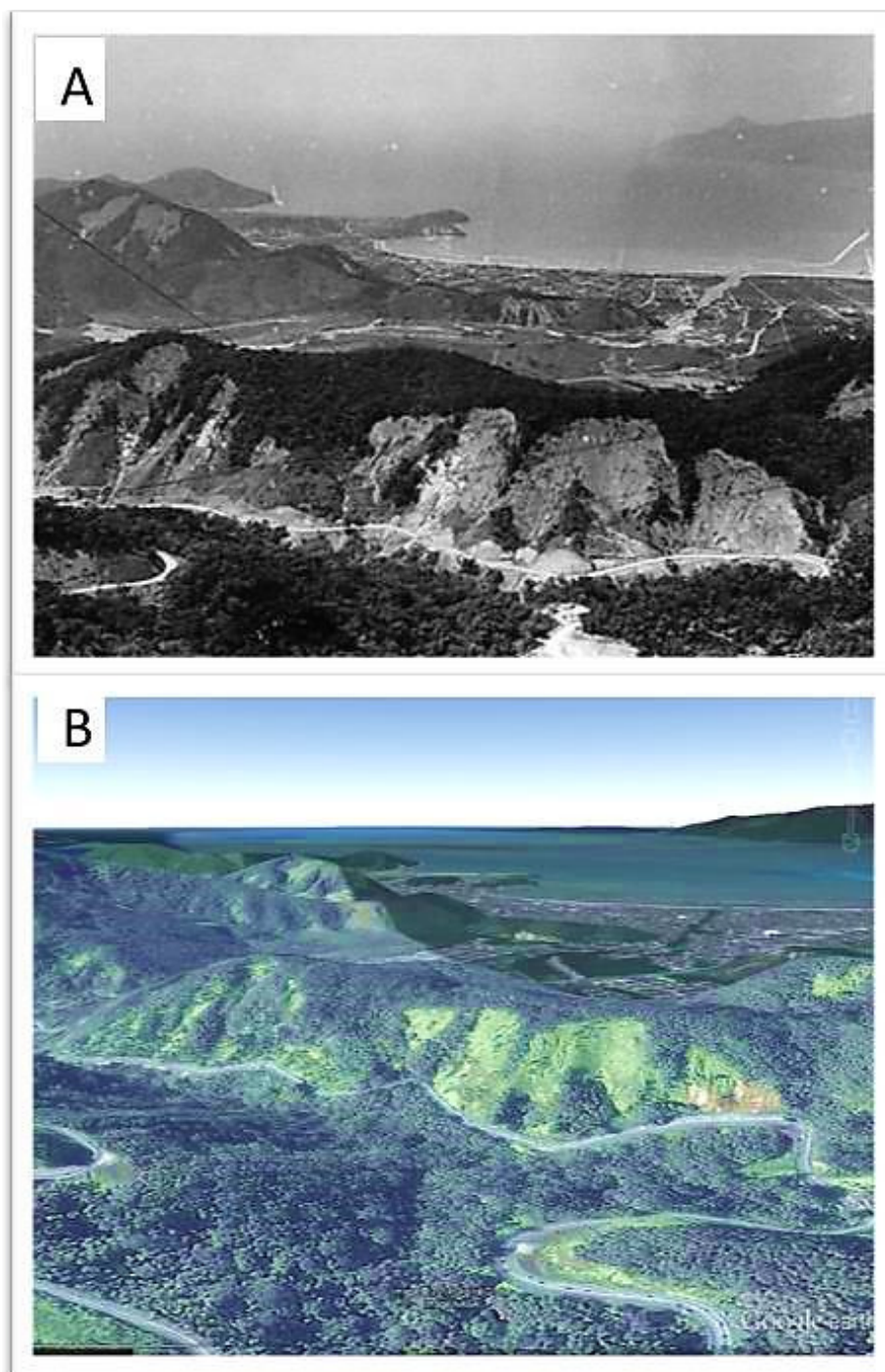


Figura 2. Foto de Escorregamentos Rodovia Tamoios em função do evento de 1967.
Fonte: A- Arquivo Estadão/1968 e B-Google Earth data: 23/08/2011.

Seguindo esta perspectiva a presente tese tem como objetivo caracterizar uma sistemática de zoneamento organizada com objetivo de identificar no meio físico as áreas com maior tendência a movimentos gravitacionais de massa. No Zoneamento Geoambiental pode-se avaliar o potencial de exploração ambiental de cada zona, subzona ou unidade geoambiental como também a identificar a capacidade de suporte desta para

instalação de obras de engenharia, outra possibilidade também esta na determinação da tendência ou risco destas unidades a movimentos gravitacionais de massa.

A sistemática apresentada na tese vem evoluindo desde a década de 1990, uma vez que inúmeros trabalhos foram desenvolvidos na Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus Rio Claro, buscando organizar um zoneamento geoambiental adaptável a diversos usos e aplicações, escalas de trabalho como também a diferentes geossistemas.

Nesta tese executou-se uma análise integrada dos atributos do meio físico das bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba. Optou-se por uma análise que se inicia na análise morfotectônica e morfoestrutural e posteriormente numa análise mais local com a classificação e compartimentação das unidades geoambientais.

O produto final apresentado nesta tese consistiu no Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa (MSAMGM), adaptado a regiões de áreas costeiras tropicais - como no caso do município de Caraguatatuba. O termo suscetibilidade refere-se à propensão ou a tendência ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área.

O Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa elaborado teve como propósito principal criar uma ferramenta de gestão acessível a qualquer profissional da área ambiental, ou seja, tornar mais sistemática e operacional a utilização dos procedimentos de integração de dados ambientais. Nesta tese foi apresentado inicialmente o diagnóstico elaborado da área de estudo, na sequência a revisão dos métodos e técnicas utilizadas. Após esta etapa foi detalhada a sistematização do zoneamento geoambiental, e por fim exibidos os produtos cartográficos temáticos e de síntese obtidos.

1.2 Justificativas

Essa pesquisa justifica-se pela demanda por estratégias de mapeamento que comprovem eficiência na detecção de movimentos gravitacionais de massa que possam atingir a população causando prejuízos à sociedade, do mesmo modo que contribui como estratégia de análise hierárquica dos níveis de suscetibilidade á movimentos gravitacionais de massa no meio físico.

Também colabora na geração de novas ferramentas de planejamento do meio físico bem como amplia o conhecimento da dinâmica da paisagem da Serra do Mar.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta tese foi contribuir com uma abordagem metodológica para caracterização e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa em áreas de planaltos serranos e escarpas costeiras da Serra do Mar - localizadas dentro das cinco bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba.

Já os objetivos específicos foram:

- Identificar e hierarquizar a suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa das áreas de Planaltos Serranos e Escarpas Costeiras localizadas nas bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba;
- Avaliar os resultados obtidos com a integração dos métodos, e analisar como esta integração contribui na determinação da suscetibilidade do meio físico a instabilidades provocadas pelas ações humanas e pelas características próprias do meio físico;
- Avaliar o potencial de exploração ambiental de cada zona, subzona ou unidade geoambiental como também a identificar a capacidade de suporte desta para instalação de obras de engenharia.

1.4 Hipótese

A visão integrada do meio físico e o entendimento dos mecanismos naturais que levam aos movimentos gravitacionais de massa é imprescindível a gestão ambiental, sendo assim a sistematização e integração de metodologias (análise morfoestrutural, análise morfotectônica, fotointerpretação) em um produto cartográfico de síntese contribuirá para obter uma visão sistêmica do meio físico.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo está localizada no litoral norte do estado de São Paulo mais especificamente no município de Caraguatatuba, abrange as Folhas Topográficas Pico do Papagaio, Caraguatatuba, Maresias e São Sebastião e está localizada entre as coordenadas $23^{\circ}30'S/45^{\circ}45'W$ e $24^{\circ}00'S/45^{\circ}15'W$, dentro do Planalto Atlântico e da Província Costeira. Tem como principais vias de acesso à área a Rodovia Rio - Santos (BR 101/SP 55) e a Rodovia dos Tamoios (SP 099).

O zoneamento geoambiental foi realizado para as áreas de Planaltos Serranos e Escarpas Costeiras localizadas dentro das cinco bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba. Estas bacias são as seguintes: Bacias do Rio Juqueriquerê, Rio da Lagoa, Rio Santo Antonio, Córrego do Jundiá e Rio Guaxinduba (Figura 3).

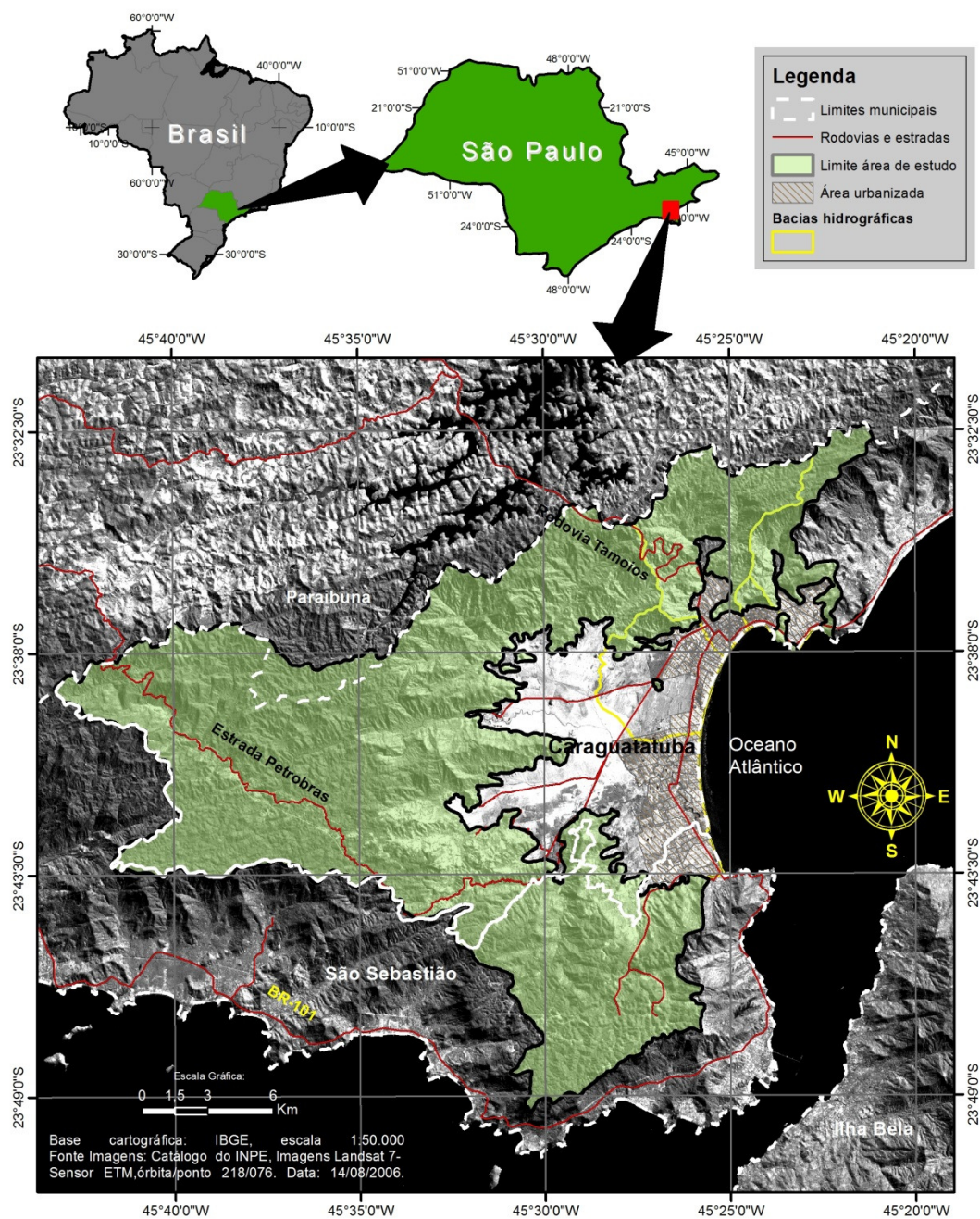


Figura 3 - Localização da área de estudo formada pelos planaltos serranos e escarpas costeiras da Serra do Mar localizadas dentro das cinco bacias hidrográficas que drenam a planície sedimentar de Caraguatatuba.

2.2 Clima

A dinâmica climática constitui um fator importantíssimo na deflagração ou não de movimentos gravitacionais de massa. O município de Caraguatatuba possui pelo menos um mês com temperatura média inferior a 18°C, no mês mais frio (junho ou julho) varia de 18 a 15°C. A temperatura média anual é quase sempre inferior a 22°C, variando principalmente entre 20°C e 18°C. No verão a média da temperatura é acima de 22°C (NIMER, 1989).

Segundo Nimer (1989) a Serra do Mar em Caraguatatuba possui uma altura média de precipitação de 2500 mm por ano, com concentração muito significativa das chuvas no semestre mais chuvoso (outubro a março) cerca de 70 a 80% da pluviometria anual. Esta forte concentração pluviométrica no semestre de verão decorre mais do fato de serem mais copiosas as chuvas nessa época do ano do que de sua frequência.

Na figura 4 nota-se a distribuição da temperatura média diária e a média mensal de chuva total em Caraguatatuba entre 01/06/2006 a 01/08/2012. Pode-se identificar um período mais seco que se estende de maio a outubro em contrapartida a um período mais chuvoso que se estende de novembro a abril.

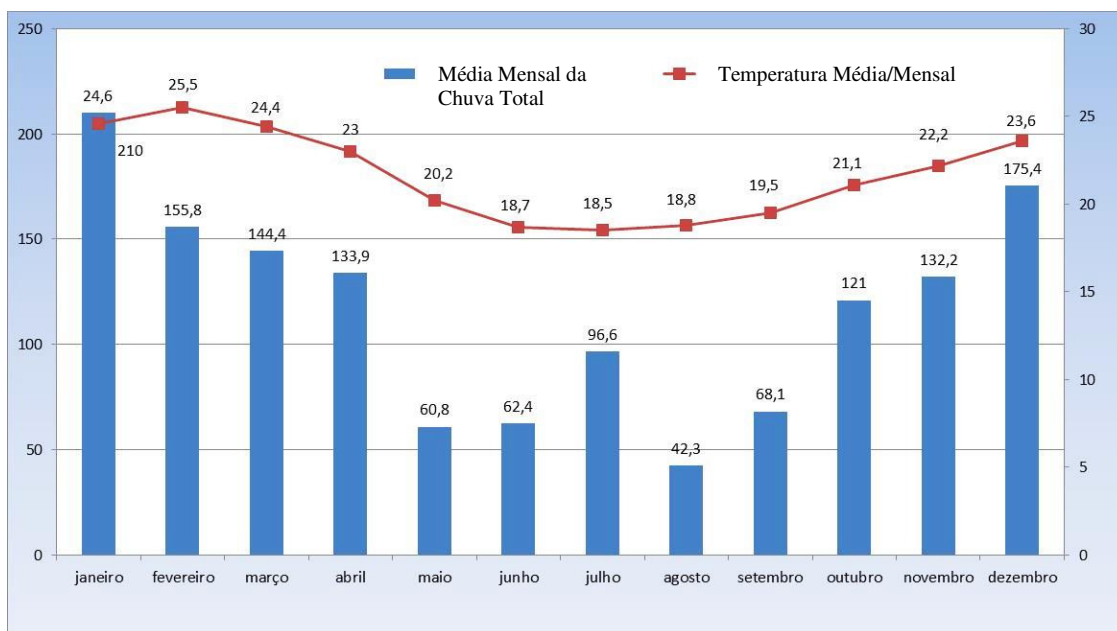


Figura 4. Climograma da média mensal de chuva total e temperatura média mês em Caraguatatuba entre 01/06/2006 a 01/08/2012. Fonte: CIIAGRO.

Os fatores estáticos do clima – no litoral norte do estado de São Paulo - estão intimamente ligados às condições geográficas de sua posição latitudinal e sua localização na borda ocidental atlântica. Essas posições lhe conferem grande incidência de radiação solar e evaporação devido à proximidade da superfície oceânica. Outro fator estático de grande importância para as elevadas precipitações nessa área é a sua topografia bastante acidentada.

“ Este caráter de sua topografia favorece as precipitações, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica. Notadamente durante a passagem de correntes perturbadas que em nossa área correspondem às frentes polares e as linhas de IT (NIMER, 1989)”.

A FPA tem sua atuação bem mais frequente no verão sendo a responsável pelas abundantes precipitações na região sudeste do Brasil e pelos aguaceiros de grande concentração/hora que nesta época do ano ocorrem com certa frequência nas áreas serranas e proximidades.

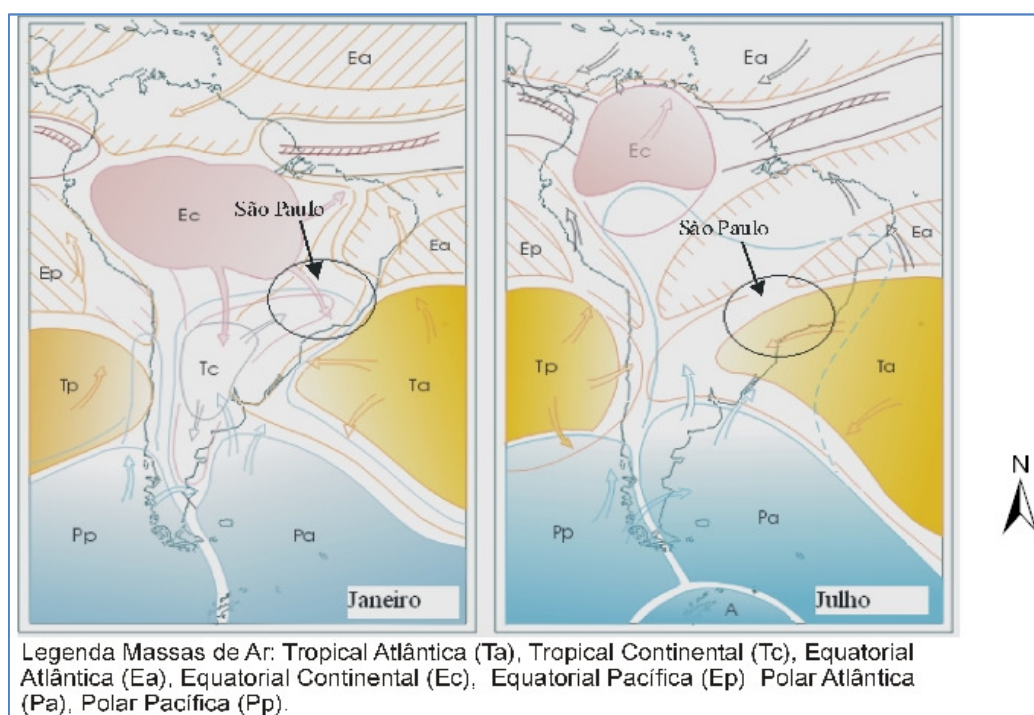


Figura 5. Atuação das massas de Ar no Estado de São Paulo, nos meses de Janeiro e Julho. Fonte: Monteiro, 2000.

Na figura 5, podemos observar que durante o verão as massas de ar revezam bastante suas atuações no estado de São Paulo. Os choques entre essas massas (Equatorial Continental, Polar Atlântica, Tropical Continental, Tropical Atlântica e Equatorial Atlântica) provocam as chuvas torrenciais

características desse período. Já no inverno a atuação das massas polares se acentua diminuindo a atuação das massas equatoriais. Nesse período diminui a instabilidade climática na região e o volume de chuvas.

A massa de ar tropical, representada pelo anticiclone semi-fixo do Atlântico Sul, possui normalmente temperaturas medianas a elevadas e forte umidade específica, devido à intensa evaporação marítima (NIMER, 1991). O domínio desta massa de ar na região mantém a estabilidade do tempo com predomínio de Sol. Já a massa equatorial caracteriza-se por temperaturas muito elevadas, podendo ser seca, quando formada sobre o continente, e úmida quando formada sobre o Oceano Atlântico Equatorial. Além disso, esta região também sofre constantemente com a influência de sistemas frontais provenientes do sul, que ocasionam instabilidades de tempo provocando chuvas.

Nas latitudes baixas (Zona Tropical), o traço mais marcante do ritmo do clima é definido por duas estações: a chuvosa e a seca. Pela sua posição latitudinal (cortada pelo trópico) e em relação aos sistemas de circulação atmosférica (situadas sob a trajetória preferida pelas correntes perturbadas de origem polar), a distinção entre as temperaturas máximas diárias registradas no verão e as mínimas no inverno é um fato climático que não se deve desprezar.

A vegetação da área de estudo é genericamente denominada de Mata Atlântica. As condições ambientais resultantes do posicionamento das escarpas da Serra do Mar, paralelamente a linha de costa determinam a existência dessa vegetação, pois as escarpas atuam como obstáculo às massas de ar oceânicas úmidas, que ao resfriarem precipitam em forma de nevoeiros ou chuvas. A variação na altitude - do nível do mar a mais de 1000 metros - da pluviosidade de 1500 mm a 4500 mm e da temperatura favorecem a instalação de uma grande biodiversidade de espécies (SMA - São Paulo, 1996).

A constituição de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical) está relacionada a fatores climáticos tropicais como as elevadas temperaturas (médias de 25º) e a alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem

período seco. Esta vegetação é subdividida em cinco formações ordenadas, segundo hierarquia topográfica que reflete fisionomias diferentes de acordo com as variações ecotípicas das faixas altimétricas. Estes variam 1º centígrado para cada 100 metros de altitude, dividindo-se em: aluvial, das terras baixas, subtropical, montana e alto-montana. (SMA - São Paulo, 1996).

2.3 Geomorfologia

A Serra do Mar apresenta um conjunto de rochas pré-cambrianas com diferentes resistências (granitos, gnaisses e xistos), fortemente estruturadas ou não. Segundo De Martonne (1943), a diferenciação do relevo e solo pode ser atribuída no Brasil Tropical Atlântico a uma desigual resistência das rochas cristalinas. A própria série Arqueana e Proterozóica que forma as Serras do Mar e Mantiqueira, não é um todo homogêneo e possui frequentemente granitos menos resistentes do que os gnaisses e quartizitos mais resistentes, além dos sienitos.

Segundo Ab'Sáber (1955), a morfogênese do litoral de São Paulo iniciou-se no fim do Cretáceo ao Eoceno, período de ocorrência dos grandes falhamentos no sudeste, responsável pela gênese das principais escarpas de falha do Planalto Atlântico.

A área de estudo está localizada na Província Costeira, a qual é subdividida nas zonas da Serrania Costeira (Subzona Serra do Mar) e Baixada Litorânea (ALMEIDA, 1964). Uma porção da área situa-se no Planalto Atlântico mais especificamente no Planalto Paulistano. Este é limitado ao sul pela Serra de Juqueriquerê e pela Serra do Mar cujas cristas têm marcada inclinação de rumo NE e SW. Na Serra de Juqueriquerê as altitudes ultrapassam os 1100 metros (Pico do Papagaio – 1183 metros).

Conforme Cruz (1974), a direção da Serra do Mar na área de estudo comanda a linha de costa e depende da maior ou menor aproximação da serra com o mar. Quando a direção da costa é NE-SW, as linhas de costa caracterizam-se como altas e maciças, com costões e praias de tombo. Quando à direção da linha de costa é N-S, apresenta reentrâncias, com enseadas e praias mais calmas.

O planalto de Juqueriquerê - principal planalto da área de estudo- possui um desnivelamento de 200 metros abaixo do planalto de Paraitinga e 500 metros abaixo do planalto Paulistano (IPT, 1981).

Na região do planalto de Juqueriquerê foram reconhecidos três setores de planalto com diversos estágios de entalhamento pelos sistemas de drenagem atuais e formados por relevos de topos subnivelados em diferentes cotas altimétricas constituindo os Planaltos do Moraes e Lourenço Velho mais elevados e o planalto de Juqueriquerê mais rebaixado (figura 6). O planalto de Juqueriquerê situa se no promontório que se destaca no litoral norte do estado de São Paulo, defronte a Ilha de São Sebastião (CAMPANHA, et al. 1994).

O planalto do Moraes é o mais preservado atingindo altitudes próximas a 1300 metros. É drenado essencialmente pelas cabeceiras do rio Tietê e seus tributários, enquanto o planalto do Lourenço Velho, cujos topos estão em torno de 900 metros de altitude, compreende a bacia do Rio Lourenço Velho e do Ribeirão dos Prazeres. Já planalto de Juqueriquerê apresenta altitudes em torno 600 e 750 metros e apresenta limite marcadamente retilíneo em relação ao planalto de São Lourenço coincidente com a zona de cisalhamento pré cambriana reativada do Camburu (CAMPANHA, et al. 1994). A localização dos planaltos do Moraes, Lourenço Velho e Juqueriquerê pode ser observada na figura 6.

De acordo com Campanha et al. (1994) a Falha do Camburu limita o planalto de Juqueriquerê dos planaltos Paulistano e Paraitinga, reforçando a ideia da origem tectônica para esse desnivelamento. A origem deste último está relacionada a abatimento de blocos (ALMEIDA 1964). Por outro lado os planaltos mais elevados são constituídos por rochas granitoides enquanto o planalto do Juqueriquerê é sustentado por gnaisses e migmatitos, portanto pode-se também considerar que tal desnivelamento seja devido a erosão diferencial.

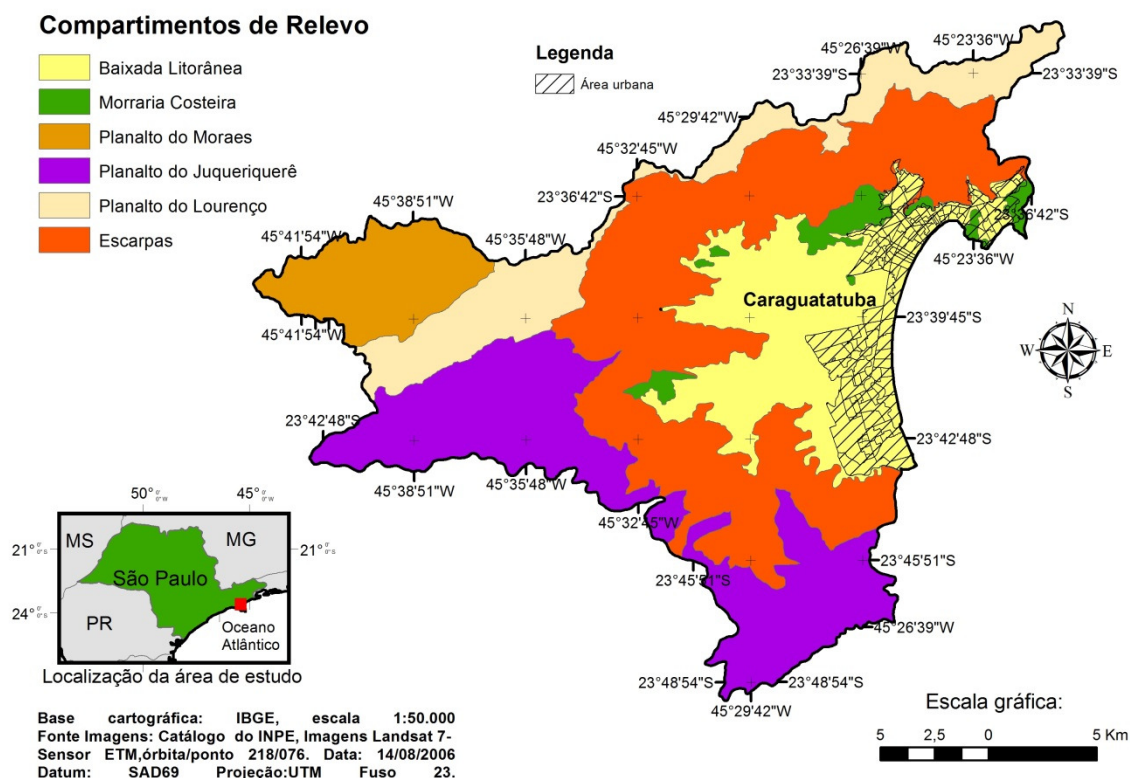


Figura 6. Representação do Mapa de compartimentos do relevo da área de estudo (Modificado de Campanha et al. 1994).

Cruz (1974) divide quatro compartimentos para área de estudo. O primeiro compartimento trata-se dos planaltos serranos que possuem formas mamemoladas com espesso manto de regolito e restos de detritos mais grosseiros sob a forma clássica de linhas de pedras. O segundo compartimento refere-se às escarpas costeiras que são áreas de desgaste com grande dinamização das vertentes, com declives acima de 40% nos altos das escarpas, já nos patamares intermediários e rampas de desgaste apresentam encostas mais suaves. O terceiro compartimento trata-se das planícies costeiras que são áreas de deposição com menor dinamismo geomorfológico. A quarta unidade é a linha de costa de São Sebastião; esta desdobra-se no sentido W-E, em costões e pontas rochosas, intercaladas por pequenas planícies costeiras, neste compartimento predominam áreas de desgaste em contraposição às de acumulação.

As escarpas costeiras são predominantemente áreas de relevo de degradação, com grande dinamização geomorfológica e elevada influência estrutural, estas têm patamares intermediários, rampas de desgaste e elevada densidade de drenagem (CRUZ, 1974).

As escarpas segundo o IPT (1981) estão divididas em dois sistemas de relevo chamados Escarpas Festonadas, as quais são desfeitas em anfiteatros separados por espigões com topos angulosos e vertentes com perfis retilíneos. Possuem alta densidade de drenagem e padrão subparalelo a dendrítico, com vales fechados. E um segundo sistema de relevos que constitui as Escarpas com Espigões Digitados, compostas por grandes espigões lineares subparalelos, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, drenagem de alta densidade com padrão paralelo-pinulado e vales fechados.

A Planície sedimentar de Caraguatatuba possui considerável dimensão. Sua localização e dimensão deve-se a uma modificação do lineamento estrutural do Planalto Atlântico, que apresenta até as praias de São Sebastião um direcionamento NE-SW e, a partir de Caraguatatuba, modifica-se para N-S, com um recuo da Serra do Mar para oeste, propiciando a formação da Planície Sedimentar. Esta baixada situa-se embutida num recôncavo festonado da Serra do Mar, formando um arco de aproximadamente 180°. De acordo com Cruz (1974), a extensão do litoral paulista que apresenta este lineamento longitudinal caracteriza-se pelas enseadas mais largas, declives praias mais suaves e mar menos agitado.

O IPT (1981) segmenta a Planície Sedimentar de Caraguatatuba em três setores distintos por seus materiais constituintes:

- Formação Cananéia (Pleistoceno): composta por areias inconsolidadas, de granulometria uniforme e finas de origem marinha, frequentemente limonitizadas, com raras ocorrências de leitos argilosos. Apresentam estratificação plano-paralela e tem sua deposição originada na Transgressão Cananéia, podendo atingir 30 metros de espessura.
- Sedimentos Marinhos e Mistos (Holoceno): áreas próximas a atual linha de costa, compostas basicamente por sedimentos atuais e subatuais, localmente retrabalhados por ação da hidrografia ou dos ventos. Verifica-se ainda a ocorrência de deposições fluvio-marinho-lacustres e de mangues. Caracterizam-se por estruturas de cordões de regressão.

- Sedimentos Continentais Indiferenciados (Holoceno): formados por depósitos continentais (sedimentos eluvio-coluvionares de origem areno-argilosa), ocorrendo nas proximidades das encostas.

2.4 Geologia

A Serra do Mar teve sua origem relacionada a um soerguimento entre o Cretáceo Superior e o Cenozóico em evento tectônico paralelo a crosta, com flexuras monoclinais e falhamentos, que desde então, vem recuando sob a ação da erosão (ALMEIDA, 1964). Possui depósitos quaternários elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa associadas às encostas, ou seja, as Suítes Graníticas das fácies Cantareira e ao Complexo Costeiro formado por rochas graníticas-gnáissicas. Nessa região, as discontinuidades, como juntas e falhas antigas, servem para a infiltração da água e desenvolvimento de profundos mantos de alteração.

Toda a área de estudo encontra-se inserida no Complexo Costeiro, genericamente representado por formações geológicas do Pré-Cambriano e Cenozóico. O complexo costeiro se estende ao longo de toda a costa sudeste do Brasil. A geologia desta área é marcada por redes de zonas de cisalhamento transcorrentes, que estão associadas à evolução do Cinturão de Dobramento Orogênico Ribeira, ligado a Orogênese Brasileira-Pan-Africana (MAFFRA, 2000).

A área de estudo localiza-se a sudeste do Cinturão Ribeira, é transectada de oeste para leste pelas seguintes estruturas: Zona de Cisalhamento Bairro do Alto, Zona de Cisalhamento Camburu e Sistema de Cavalgamento São Sebastião.

Conforme Campanha et al. (1994), um modelo para a evolução morfotectônica da área de estudo seria o seguinte: Primeiramente ocorre o desenvolvimento da superfície erosiva do Planalto do Moraes entre o Cretáceo Superior e o início do Cenozoico; em seguida o soerguimento crustal e o desenvolvimento de nova superfície erosiva, no caso a superfície do Planalto de Lourenço Velho, durante o Mioceno Médio, preservando-se os restos do planalto do Moraes nas cabeceiras do Rio Tietê; abatimento parcial da

superfície do Planalto do Lourenço Velho no Mioceno superior, originando o Planalto do Juqueriquerê.

A Zona de Cisalhamento Camburu (Figura 7), está associada à evolução tardia da Faixa Ribeira e é reconhecida como uma falha transcorrente dextral com direção NE-SW. A estrutura inclui-se no embasamento cristalino da região de São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo, esta separa dois blocos distintos de rocha, o Granito Pico do Papagaio a norte, e o Augen Gnaiss Juqueí a sul, pertencente ao Complexo Costeiro (CAMPANHA & ENS 1996; MAFRA, 2000).

A Zona de Cisalhamento Camburu é composta por uma faixa de dezenas a centenas de metros de espessura de rochas miloníticas predominantemente quartzo-feldspáticas. Campanha et al. (1994) sugerem que uma reativação, possivelmente terciária, da Zona de Cisalhamento Camburu teria abatido o Planalto do Juqueriquerê em relação aos planaltos mais elevados a norte da falha, gerando rochas cataclásticas.

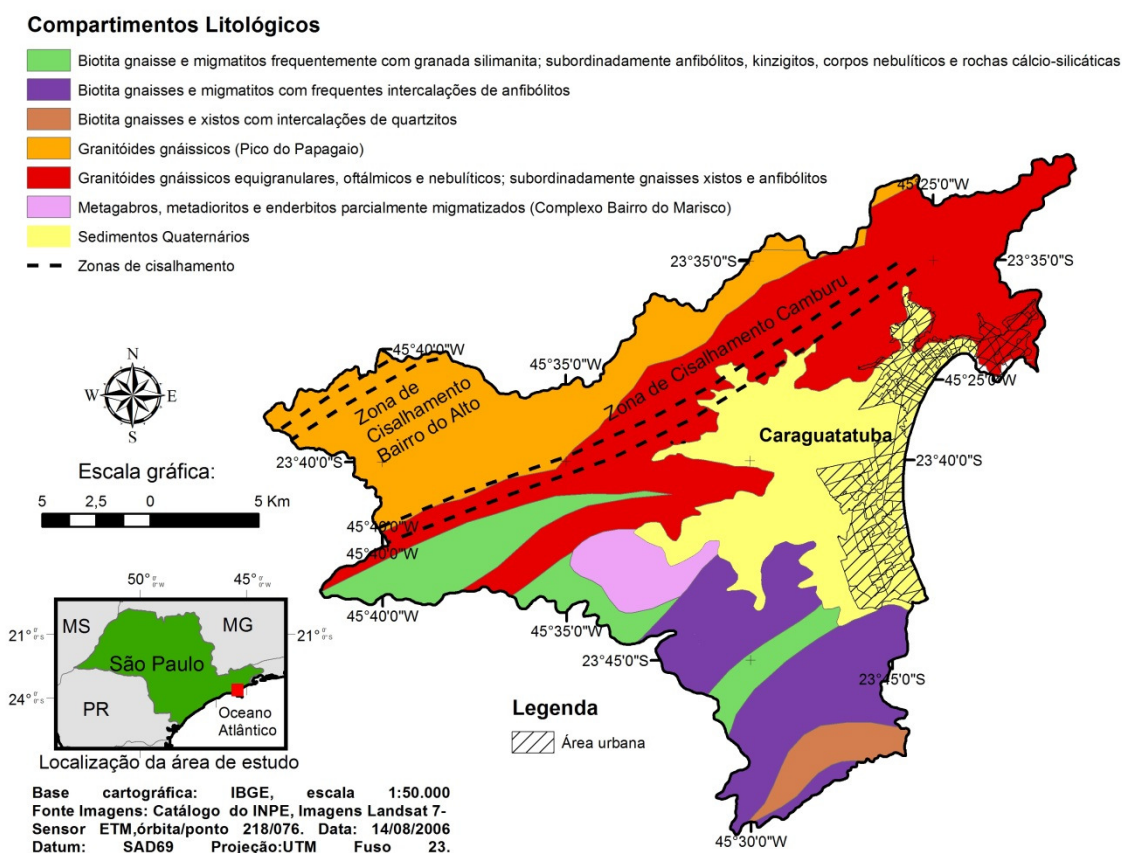


Figura 7. Representação do Mapa geológico da área de estudo. Modificado de Campanha et al. 1994.

O cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul de orientação NE-SW sofreu uma transpressão dextral enquanto que a porção norte-sul apresenta um sistema de cavalgamento essencialmente frontal. Todo este quadro deu origem a uma condição estrutural complexa gerando domínios de deformação tangencial, com foliação com mergulhos moderados e lineações suaves e indicações cinemáticas de cavalgamentos para NW e um domínio de deformação transcorrente. As estruturas regionais apresentam um trend NE, e correspondem a fatias de cisalhamento dúcteis, sub-horizontais para o noroeste, seguidas por uma pilha de cavalgamentos também para o noroeste, que são por sua vez superpostos por cinturões de cisalhamentos transcorrentes. São comuns estruturas do tipo em flor (regionais), extrusão lateral (MAFFRA, 2000 apud EBERT; HASUI, 1998).

Essa tectônica caracterizada por blocos falhados e desnivelados permitiu a formação da Serra do Mar, onde os processos erosivos passaram a atuar intensamente a partir do Jurássico Superior, com a Reativação Wealdeniana (GARDA, 1995 apud ALMEIDA, 1967).

Na região de São Lourenço foram reconhecidas na porção NW rochas granitóides gnáissificadas (Granito Pico do Papagaio) e ao Sul, separado pela zona de cisalhamento Camburu, um conjunto de rochas predominantemente paraderivadas, migmatizadas e rochas metabásicas (CAMPANHA; ENS, 1996).

A falha do Camburu está inserida numa zona de cisalhamento pré-cambriana e foi reativada durante o Juro Cretáceo, com a intrusão de espessos diques de rochas básicas, com o abatimento do planalto do Juqueriquerê no Terciário, deu se origem intercalações milimétricas a métricas de brechas cataclásticas silicificadas (CAMPANHA; ENS, 1996).

Conforme Campanha & Ens (1996) "a Falha do Camburu constitui uma faixa de dezenas a centenas de metros de espessura de rochas miloníticas, ultramiloníticas, blastomiloníticas e protomiloníticas, predominantemente quartzo feldspáticas.

2.5 Bacias Hidrográficas da Planície Sedimentar de Caraguatatuba

A planície sedimentar de Caraguatatuba é drenada por cinco bacias (Figura 8), a bacia principal é a do Rio Juqueriquerê (formada pelos rios Claro, Piraçununga e Camburu) as demais bacias são: Bacia do rio da Lagoa, Bacia do rio Santo Antônio, Bacia do Córrego Jundiá e Bacia do Rio Guaxinduba.

Em suas nascentes localizadas nos planaltos serranos, essas bacias têm como característica relevos com formas mamemoladas com espesso manto de regolito e restos de detritos mais grosseiros. No entanto, a influência da estrutura é fundamental para a direção das cristas e vales de rebaixamento e levantamento de blocos. A drenagem é dendrítica nas cabeceiras, em função dos morros mamemolados, porém retangular, em baioneta, contorcida ou em treliça, em função do arcabouço estrutural, sobretudo nos médios e baixos cursos (CRUZ, 1974).

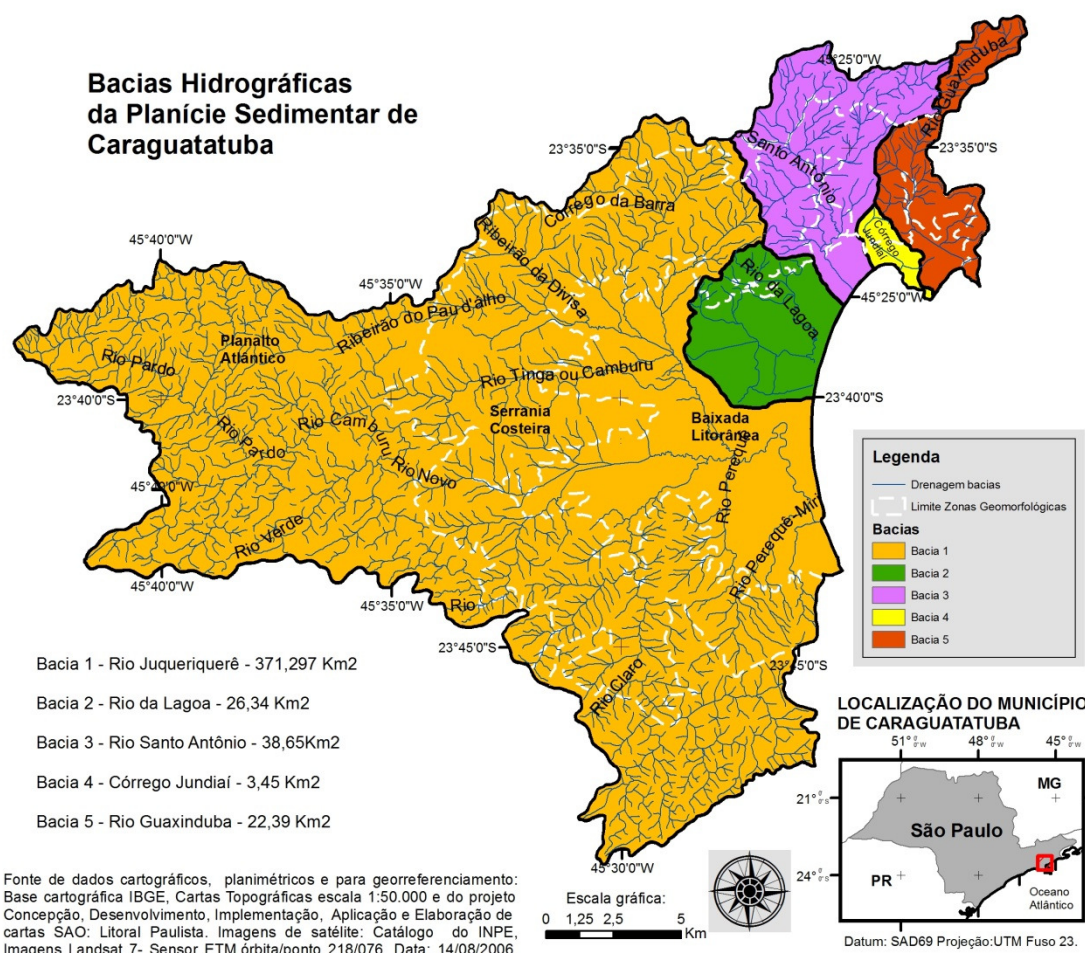


Figura 8. Representação do Mapa das Bacias Hidrográficas da Planície Sedimentar de Caraguatatuba.

Estas bacias - com exceção do córrego Jundiáí - nascem no Planalto Atlântico, atravessam a Serrania Costeira, adentram a Baixada Litorânea e desaguam no Oceano Atlântico. Pode-se observar na Figura 9 o perfil longitudinal das bacias hidrográficas. Todas estas bacias possuem intensa urbanização e consequentemente impermeabilização do solo nos baixos cursos, fator este que aumenta o número de eventos de inundações nestas áreas.

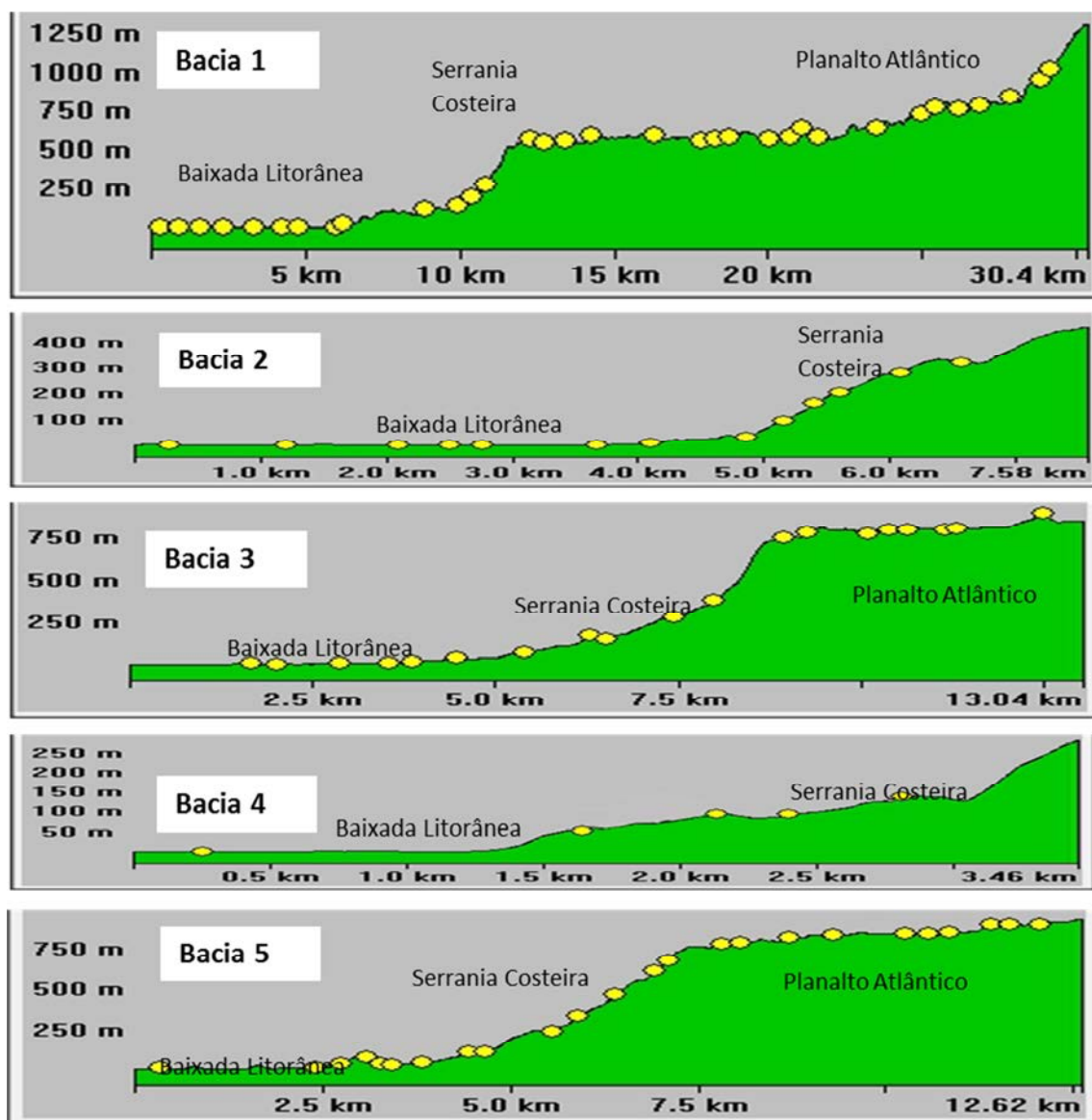


Figura 9. Perfil longitudinal das bacias hidrográficas elaborados no Global Mapper 11.

De acordo com Petri & Suguio (1971) as características dos rios que drenam a Planície Sedimentar de Caraguatatuba são anastomosados em seus baixos cursos, ou seja, devido ao percurso que o leito d'água percorre ser

muito íngreme em suas nascentes, este passa abruptamente de um ambiente de alta energia (com possibilidade de carreamento de material em grande quantidade) para um ambiente de baixa declividade, adquirindo características deposicionais intensas. Por vezes, esses depósitos forçam o leito d'água a modificar seu curso, devido à formação de bancos de areias fluviais.

2.5.1 Bacia do Rio Juqueriquerê

A Bacia do Rio Juqueriquerê é a principal da planície sedimentar de Caraguatatuba, esta bacia possui cerca de 370 Km² e tem como principais os seguintes rios: Rio São Tomé, Rio Claro, Rio Perequê, Rio Tinga ou Camburu, Rio Pau D'álho, Rio Piraçununga, Ribeirão Pau-d'álho e o Córrego Canivetal (BRASIL, 1974, 1976) (Figura 8).

Os rios pertencentes a esta bacia nascem nos planaltos do Juqueriquerê, do Moraes e do Lourenço Velho, possuem padrões de drenagem paralelos e angulares (devido ao controle estrutural predominante na área), contudo na planície apresentam um comportamento anastomosado, tendo seu talvegue entulhado pelos sedimentos trazidos por seus afluentes das escarpas da Serra do Mar, com um desnível de até 1.200m.

A bacia hidrográfica do rio Juqueriquerê é a mais extensa do litoral norte paulista e é possibilitada, segundo Cruz (1974), pelo lineamento do Planalto Atlântico (que nesta porção da costa direciona-se para o norte), assim como pelos esporões que avançam ao mar, de modo a conformar uma baía.

O Rio Camburu tem sua bacia entalhada na Serra do Mar sob o formato de garganta profunda, de modo a seguir os cotovelos estruturais. Já o Rio Perequê-Mirim apresenta uma bacia com pequenos alvéolos interiores possuidores de taludes de detritos, bem como seus afluentes. Diferenciando-se destes o Rio Pau D'álho tem o início de seu curso numa área de rebaixamento do Planalto Atlântico, de modo a correr em linhas de fratura e propiciar a deposição de colúvios nas bases das vertentes (CRUZ, 1974).

As cabeceiras dos rios Claro e Piraçununga caracterizam-se por propiciarem um recuo do Planalto Cristalino, que se traduzem em rampas e taludes de detritos a serem erificados no pé da serra. Segundo Cruz (1974) é

fundamental os estudos e observações de deposições de pé de encostas, para definições geomorfológicas e informações geocronológicas da área. São por meio destes vestígios que se pode relacionar a ocorrência de eventos de ingresso e regressão do mar, modificações do traçado da drenagem e a presença de vestígios de escorregamentos de massa.

2.5.2 Bacia do Rio da Lagoa

A bacia do Rio da Lagoa ou Poiares (Figura 8) possui cerca de 26 Km², seu padrão de drenagem é paralelo nas vertentes do morro do Jaraguá e meândrico - com muitos trechos retificados - nas áreas de planície. Nas bacias do Rio Santo Antônio e do Rio da Lagoa foram verificados um grande número de ocorrências de corridas de lama, no evento climático de março de 1967, porém de acordo com Petri & Suguio (1971) a montante predomina a ocorrência de matacões, enquanto que a jusante são verificados seixos e areias, que tem sua granulometria reduzida à medida que o rio se aproxima do Atlântico. As cicatrizes deixadas por esse evento na paisagem, observáveis na figura 10, marcam até hoje as encostas do morro do Jaraguá em Caraguatatuba.

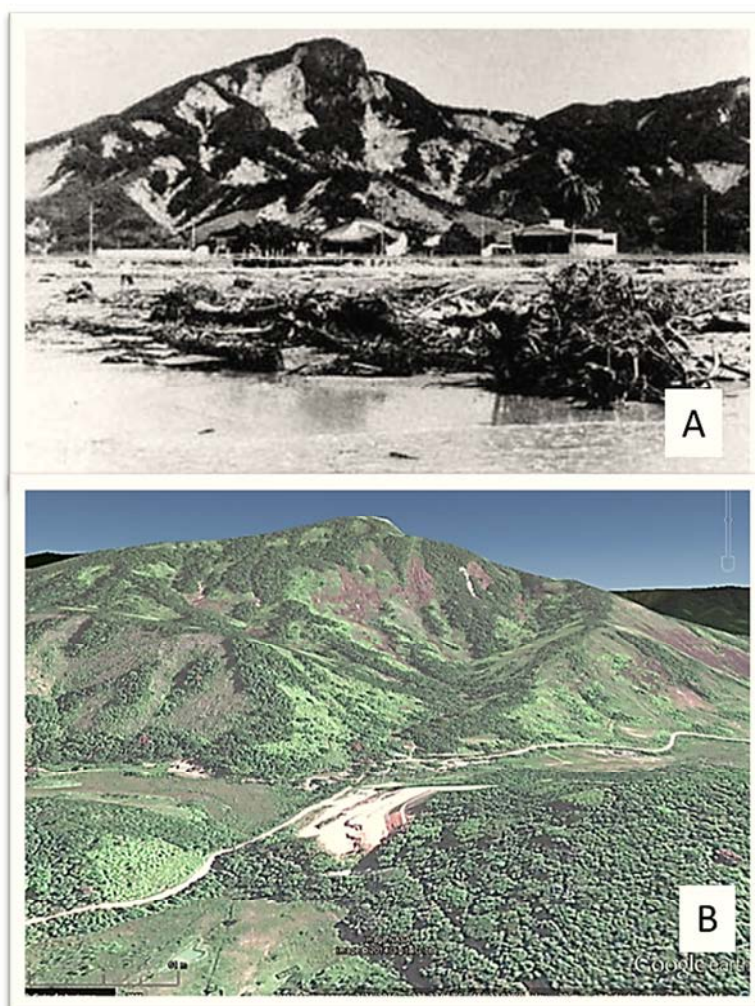


Figura 10. Vista do morro do Jaraguá após evento climático de 1967(A) e atualmente(B). Fonte: A- Arquivo Estadão/1967 B-Google Earth data: 04/03/2009.

2.5.3 Bacia do Rio Santo Antônio

A Bacia do Rio Santo Antônio é a mais urbanizada entre todas as bacias existentes no município de Caraguatatuba, seu curso final bastante retificado atravessa o centro urbano do município. Seus principais rios são Córrego dos Quinhentos Réis, Córrego da Manteiga, Ribeirão do Ouro e Rio Santo Antônio. Na área das Escarpas e do Planalto de Lourenço Velho essa bacia possui padrão de drenagem paralelo a subparalelo, já na planície encontra-se extremamente retificada. Esta bacia tem aproximadamente 39 Km².

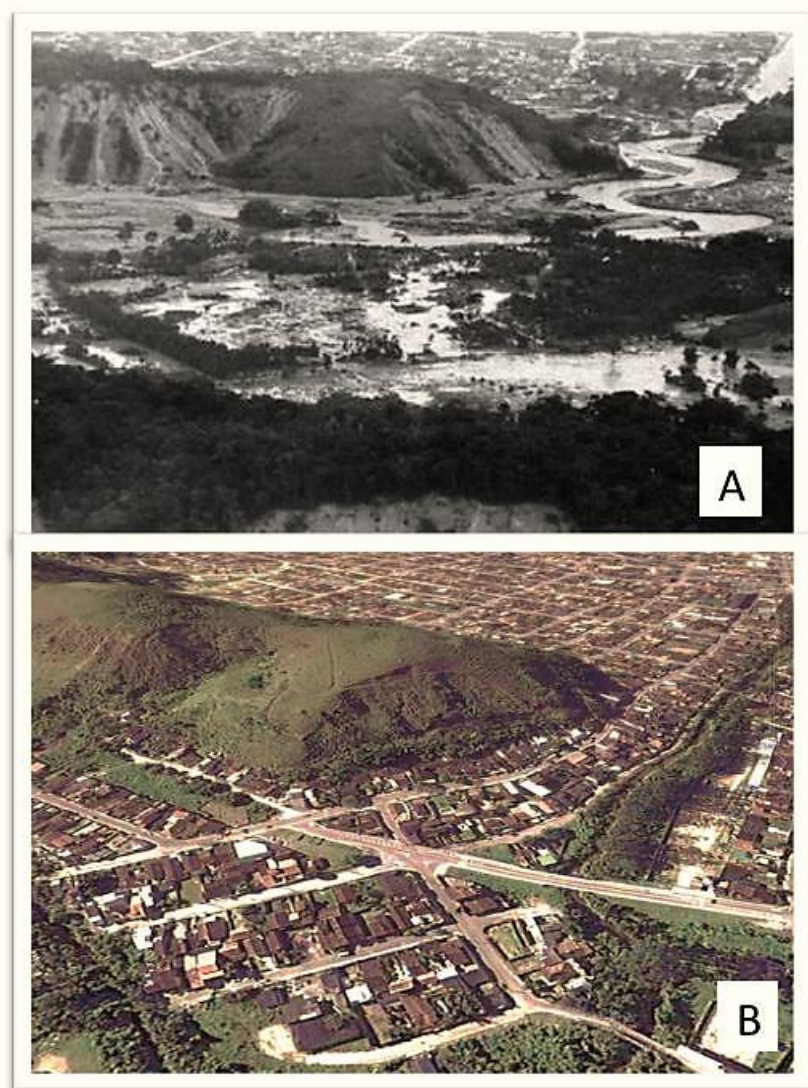


Figura 11. Rio Santo Antônio. Fonte: A- Arquivo Estadão/1967 e B-Google Earth data: 04/03/2009.

Na figura 11-A podemos observar o Rio Santo Antônio e suas adjacências após o evento catastrófico de março de 1967. Neste evento devido ao imenso volume de água precipitado ocorreu o transbordamento do Rio Santo Antônio e também uma série de escorregamentos com um grande volume de material depositado no sopé das encostas. A força deste evento foi tão grande que o fluxo de água trouxe inclusive uma mistura de lama e árvores que cobriu o centro da cidade de Caraguatatuba.

Ao compararmos a figura 11-B de 2009 com a 11. A de 1967, da mesma área, verificamos que o leito do rio ampliou-se bastante nesse transbordamento, de forma que com a acentuação do processo de urbanização se atualmente um evento parecido ocorresse nesta área as consequências

seriam ainda mais graves em virtude da maior impermeabilização do solo e do aumento da população local que seria atingida. Sobre o evento, Cruz (1974) afirma que o vale do leito principal que era da ordem de 10 a 20 metros passou a ter a largura de 60 a 80 metros depois da série de escorregamentos de 1967, assim como observado na figura 11- A.

Após o evento catastrófico em março de 1967, como já citado anteriormente foi constatado um grande número de ocorrências de corridas de lama, contudo de acordo com registros de Petri & Suguio (1971), nas áreas a montante predominou a ocorrência de matacões, enquanto que a jusante foram verificados seixos e areias, que tem sua granulometria reduzida gradualmente à medida que o rio se aproximam do Atlântico. Tal fato é explicado por Suguio (1980), pois devido ao Rio Santo Antônio possuir comportamento anastomosado sua energia de transporte é reduzida abruptamente ao atingir a planície sedimentar.

O Rio Santo Antônio, bem como seus principais afluentes (Ribeirão do Ouro, Quinhentos Réis, Mantegueira e Córrego da Volta) após receber um imenso aporte sedimentar em um único evento e terem seus vales entulhados passaram a buscar um novo entalhe para seu talvegue, buscando desviar o curso dos novos taludes de detritos que ocupam a área de suas bacias (GOBBI, 2009).

2.5.4 Bacia do Córrego Jundiáí

A Bacia do Córrego Jundiáí é a menor bacia das estudadas, possui cerca de 3,40 Km², é uma bacia inteiramente urbanizada tendo seus canais totalmente retificados na planície, suas nascentes estão localizadas atrás do Morro do Santo Antônio. Esta bacia tem padrão de drenagem subparalelo nos altos cursos. Detalhe de sua foz observável na figura 12.



Figura 12. Local de desaguamento da bacia do Córrego Jundiaí na enseada de Caraguatatuba. Foto:CAM.

2.5.5 Bacia do Rio Guaxinduba

A bacia do Rio Guaxinduba atravessa o bairro de Martins de Sá que é um dos mais importantes de Caraguatatuba, é responsável pela drenagem de uma área de 22,4 Km². Caracteriza-se por apresentar um vale de alvéolo interno já rebaixado, com cotas muito próximas as do nível do mar, percorrendo seu traçado em meio a formações arenosas originadas de depósitos marinhos e de seus próprios depósitos aluviais, se seu curso na planície não tivesse sido retificado até a praia Martim de Sá, deveria provavelmente apresentar um padrão anastomosado, atualmente ao adentrar a planície até sua foz (figura 13) esta bacia está totalmente retificada. Esta bacia tem em sua área de planície intensa ocupação urbana. Seu padrão de drenagem é de paralelo a subparalelo nas áreas do Planalto do Lourenço Velho e Escarpas Serranas.

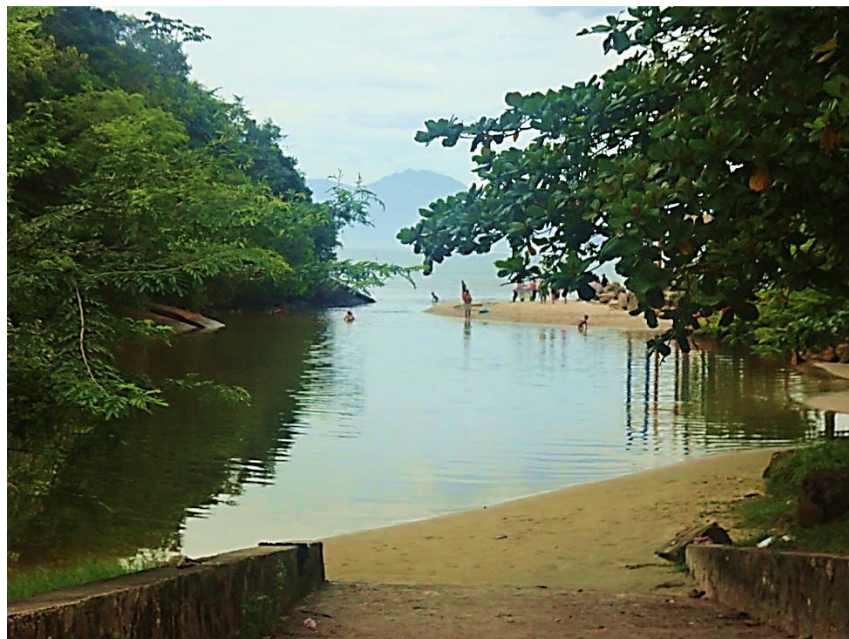


Figura 13. Foz do Rio Guaximduba. Foto:CAM.

No bairro Martins de Sá, atualmente a prefeitura desenvolve obras (figura 14) para melhora da drenagem superficial, pois durante dias de chuvas localizadas e continuas o solo fica encharcado causando áreas de alagamento na planície. Esses alagamentos ocorrem muitas vezes sem contribuição de fluxos da drenagem a montante, apenas com chuvas locais.



Figura 14. Bairro Martins de Sá, planície da Bacia do Rio Guaxinduba. Foto:CAM.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Zoneamentos Geoambientais

De forma geral o zoneamento geoambiental consiste em uma forma de organização territorial realizada através da sistematização detalhada dos aspectos sócios ambientais relevantes a um determinado fim. Na década de 1960, o termo zoneamento foi introduzido no Brasil devido à necessidade de regularização da situação fundiária. Segundo o IBAMA (1994), zonear é um conceito geográfico que significa dividir determinado local de acordo com objetivos estabelecidos, origem dos indicadores e interações aplicadas na análise.

Em 1986, o IBGE apresentou um termo de referência para uma proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico. Estes trabalhos foram conduzidos, inicialmente, pela equipe do RADAMBRASIL, e no ano de 1988 o governo lançou o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) que teve como objetivo principal disciplinar a ocupação e a exploração racional da Amazônia Legal com estratégias fundamentadas no ordenamento territorial (MMA-SAE, 1997).

De acordo com Ab'Saber (1987), o conceito de zoneamento exige uma série de entendimentos prévios, sua aplicação ou utilização a determinado espaço depende de um método adequado a cada geossistema. Todo zoneamento depende de uma multidisciplinaridade plena de análise, pelo fato

de pretender identificar as potencialidades específicas ou preferenciais de cada uma das áreas compartimentadas nos zoneamento.

De acordo com Jiménez-Rueda et al. (1995), o zoneamento geoambiental consiste em um exame sistemático de uma região com a finalidade de obter informações sobre as variáveis litológicas, morfoestruturais, microclimáticas, fisiográficas e coberturas/unidades de alteração intempérica, definindo com isto as zonas geoambientais, que apresentam as potencialidades de suporte do meio físico de acordo com os condicionantes naturais, em função dos modificadores sócioeconômicos.

O Zoneamento Geoambiental constitui um instrumento técnico de orientação no planejamento do uso e ocupação da paisagem e da exploração sustentável dos recursos naturais, incluindo os solos. Ele envolve uma abordagem sistêmica e integrada dos fatores e processos naturais com os aspectos socioeconômicos e políticos (JIMENEZ-RUEDA, 2011).

Os zoneamentos geoambientais apresentam como característica marcante a integração entre os aspetos que compõem o meio natural, diante da presença da ocupação do espaço com atividades humanas, agregando ainda análises acerca das fragilidades oriundas desta interação, como também oferecem alternativas a respeito de um melhor aproveitamento destes espaços, por meio da determinação do risco, da suscetibilidade, da fragilidade e da capacidade de suporte destas unidades.

Entre os mecanismos à disposição do Poder Público, passíveis de serem utilizados no âmbito do planejamento territorial, é possível afirmar que o Zoneamento e Diagnóstico Geoambientais têm se destacado como instrumentos estratégicos. Em busca da compatibilização entre o desenvolvimento econômico, a qualidade ambiental e o auxílio na efetivação e aplicação dos Planos Diretores Municipais, obrigatório pela Constituição Federal de 1988 (Art. 182) para municípios com mais de 20.000 habitantes urbanos ou com menos de 20.000, mas com atividade turística, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais do município (JIMÉNEZ-RUEDA et. al., 2008).

O desenvolvimento do zoneamento se faz necessário para se conhecer melhor a aptidão dos terrenos para instalação de obras de engenharia bem como para a inserção de atividades agrícolas, e assim poder orientar de forma adequada seus usos, para superar as limitações impostas pelo ambiente. Zuquete (1987,1993) desenvolveu uma metodologia de mapeamento onde os atributos do meio físico são levantados, avaliados e apresentados sob a forma de classes de documentos (mapas, cartas e anexos descritivos) para fins de engenharia, planejamento, agronomia etc.

No quadro 1 estão enumeradas 25 pesquisas acadêmicas desenvolvidas na Unesp-Rio Claro, com o objetivo de aplicação e aprimoramento de zoneamentos geoambientais como um instrumento cartográfico técnico de orientação ao planejamento do uso e ocupação da paisagem para os mais diversos usos, mediante um exame sistemático de uma região.

Todos esses trabalhos (quadro 1) partiram da reinterpretação das condições hidrológicas (rede hidrológica e a densidade de drenagem), hipsométricas (altos e baixos topográficos), morfométricas (diferentes níveis de base e topos), geológicas (litológicas formais/aloformais; tectônicas: alinhamentos, traços de juntas, morfoestruturas), climáticas (paleo/atuais), geomorfológicas/fisiográficas, bióticas e pedológicas, adquiridas a partir de revisão bibliográfica e cartográfica e da interpretação de cartas topográficas e sensores remotos (através dos quais se adquire a fundamentação sobre a área), permitindo posteriormente estabelecer as zonas e subzonas geoambientais de acordo com a fisiologia da paisagem e sua aplicação específica.

Autor	Ano	Área de estudo	Usos e Aplicações
Jiménez-Rueda et al.	1989a	Região da Serra do Mar (SP)	Zoneamento agroecológico
Jiménez-Rueda et al.	1989b	Região centro-leste do Estado de São Paulo	Controle de impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com Múltiplos usos
Jiménez-Rueda et al.	1992		
Jiménez-Rueda et al.	1993	Folha São José Mipibu	Múltiplos usos
Franzoni	2000	Ilha de Santa Catarina (SC)	Obras Lineares (redes viárias)
Vedovello	2000	Ubatuba (SP)	Gestão ambiental
Rodrigues	2000	Camburiú (SC)	Gestão de bacias hidrográficas
Guimarães	2001	Cujubim - RO	Aptidão agrícola
Crisóstomo Neto	2003	Região Vale do Paraíba (SP)	Usos múltiplos
Tomoyuki et al.	2003	Região do alto-médio Rio Paraíba do Sul	Obras Lineares (redes viárias)
Michelin	2005	Assentamento Boa Sorte	Planejamento de uso e ocupação do solo
Caetano	2006	Mogi Guaçu (SP)	Múltiplos usos
Moraes	2007	Planalto de Poços de Caldas, MG/SP.	Planejamento de uso e ocupação do solo
Shimbo et al.	2007	Assentamento Rural Pirituba II, Itapeva-SP.	Projetos de reforma agrária
Pupim	2007	São Carlos - SP	Obras Lineares (dutovias)
Silva et al.	2007	Região Vale do Paraíba (SP)	Recursos hídricos subterrâneos
Guimarães	2008	Baixo Rio Candeias (RO)	Planejamento de bacias hidrográficas
Lisboa	2008	Colorado D'Oeste (RO)	Múltiplos usos
Bartolomeu	2009	Cristais Paulistas (SP)	Múltiplos usos
Della Justina	2009	Reserva biológica do Jarú e zona de	Plano de manejo de reserva biológica
Lima	2009	Franca-SP	Múltiplos usos
Benini	2009	Santa Gertrudes	Gestão de recursos do polo cerâmico
Morinaga	2010	Cristais Paulista (SP)	Valoração de Terras
Moura et al.	2011	São Sebastião (SP)	Obras Lineares (dutovias)
Jiménez-Rueda	2011	Franca (SP)	Planejamento urbano e rural

Quadro 1. Trabalhos desenvolvidos a partir da sistemática de Zoneamento Geoambiental.

Apesar da existência desses inúmeros estudos, ainda é necessária a sistematização deste método de zoneamento geoambiental de forma a torná-lo reproduzível para múltiplos usos e escalas.

Nesta tese optou-se por um zoneamento geoambiental que se inicia nas bacias hidrográficas segue com a compartimentação das zonas, subzonas e

unidades geoambientais, classificação destas unidades e conclui-se na análise morfotectônica/ morfoestrutural da área de estudo. O objetivo desta sequência de análise está na obtenção de uma visão integrada do meio físico, e também que o ajustamento destas informações valide os resultados obtidos na tese.

3.2 Movimentos gravitacionais de massa.

Existem na literatura várias definições para os termos movimentos de massa (mass movements) e deslizamentos (landslides). Sharpe (1938) definiu deslizamento como a queda perceptível ou movimento descendente de uma massa relativamente seca de solo, rocha ou ambas.

Conforme Bloom (1991), o termo coletivo para todos os movimentos gravitacionais encosta abaixo de detritos de rochas alteradas é mass wasting. O termo implica que a principal força é a gravidade.

De acordo com Selby (1993), movimento de massa é o movimento de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo. Entretanto, água e gelo geralmente estão envolvidos em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos.

Dentre os movimentos gravitacionais de massa (rastejos, escorregamentos, movimentos de blocos e corridas. Os movimentos de massa são fenômenos comuns em terrenos acidentados íngremes, grandes desmoronamentos são frequentes em regiões tectonicamente ativas, outros são causados ou induzidos pela pressão de água no solo (BIGARELLA; BECKER, 2003).

Fiori (1995) traz que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das vertentes. Estas tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo.

A água desempenha papel fundamental nesse processo alojando-se nos planos potenciais de ruptura, diminuindo a resistência mecânica do solo, pelo efeito da pressão neutra e em função da lubrificação destes planos. Tanto

chuvas intensas de curta duração quanto de longa duração fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI e IWASA, 1976).

Em áreas serranas intensamente ocupadas, ocorrem simultaneamente dois processos que podem induzir a movimentos gravitacionais: um deles natural, como consequência do fenômeno geológico da denudação, que se traduz na forma de movimentos do regolito ou movimentos de massa; o outro é o estimulado pelo processo de uso da terra manifestado na forma de diferentes graus de alteração da paisagem. A ocorrência destes dois processos simultaneamente pode ser harmoniosa ou causar a aceleração catastrófica do processo natural (FERNANDES & AMARAL, 2003).

Segundo IPT (1991) os movimentos gravitacionais do regolito associados às encostas podem ser assim classificados em:

- 1) **Rastejo (*Creep*)** - é o movimento mais lento do regolito. Dependendo do material em movimento fala-se em rastejo de tálus, rastejo de solo ou rastejo de rocha. A velocidade do rastejo, medida em centímetros por ano ou ainda menos, é maior na superfície e diminui gradualmente até zero com a profundidade. O rastejo só é perceptível através de evidências indiretas de elementos da paisagem como troncos curvos de árvores e estratos de rochas curvos próximos à superfície, ou alterações em construções feitas pelo homem, como mourões de cercas e postes adernados ou fendas e irregularidades em pavimentos de rodovias.
- 2) **Escorregamentos (*Slide*)** – as condições essenciais para o escorregamento são a falta de estabilidade da frente das encostas e a existência de superfícies de deslizamento. Tais condições ocasionam movimentos rápidos, com velocidades de metros por hora a metros por segundo, e de curta duração com planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado. O início do movimento está muitas vezes relacionado a cortes na base das encostas que alteram as condições de estabilidade do material da frente dessas encostas.

Esses cortes podem ser naturais, causados por rios ou pelo mar, ou artificiais causados por cortes em barrancos resultantes da ação humana para instalação de obras como rodovias e dutovias. Em solos e/ou regolitos

profundos, ricos em minerais de hábito planar como argilas e micas, o escorregamento se dá segundo uma superfície de deslizamento côncava com o material em movimento deslocando-se para baixo e para frente de tal modo que o topo do bloco deslocado aderna para trás e a base projeta-se para fora da encosta, em um movimento rotacional. Em solo e/ou regolito com estruturas planares herdadas das rochas (bandamento, foliação, acamamento, xistosidade, fraturas, falhas, juntas) ou adquiridas na pedogênese (horizontes, contatos) que mergulhem para fora da encosta, o escorregamento se dá segundo superfícies de deslizamento planas associadas a essas estruturas, lubrificadas pela água das chuvas, neste caso em um movimento translacional.

3) **Corridas de Massa (*Flow*)** – se o solo e/ou o regolito já sujeitos ao rastejo estão saturados de água, a massa encharcada poderá mover-se encosta abaixo alguns centímetros ou decímetros por hora ou dia. Este tipo de movimento chamado de *solifluxão* (literalmente fluxo de solo) é caracterizado pela presença de uma superfície impermeável dentro do solo, ou no embasamento rochoso, responsável pela saturação em água do solo e/ou regolito, causando a movimentação dos detritos que cobrem toda a superfície da encosta. A supersaturação da massa encharcada causada por chuvas de intensidade elevada pode levá-la a comportar-se como um fluido altamente viscoso e a deslocar-se rapidamente, com velocidades de metros por segundo, ao longo das linhas de drenagem na forma de corridas de massa.

4) **Quedas (*Fall*)** – são movimentos de blocos e fragmentos de rochas a partir de afloramentos verticais e salientes em queda livre ou pelo salto e rolamento longo de planos inclinados com declividades muito altas, sem a presença de uma superfície de deslizamento. Estes movimentos apresentam velocidades muito altas, da ordem de metros por segundo. Os afloramentos verticais localizam-se em penhascos, escarpas de falha e cabeceiras de anfiteatros de erosão.

A ocorrência de quedas é favorecida pela presença de descontinuidades na rocha (fraturas, juntas, bandamento, acamamento, xistosidade, foliação) que facilitam a infiltração de água e o consequente intemperismo que individualiza blocos e fragmentos e os disponibiliza para o movimento. A seguir - no quadro 2- classificação dos movimentos gravitacionais de massa segundo Santos (2004).

Tipos		Características
Naturais	Rastejo e solifluxão	Movimentos de grande lentidão e intermitência no horizonte superior de solos superficiais.
	Escorregamentos translacionais (rasos ou planares)	Desmonte hidráulico de solos superficial especialmente associado a encostas retilíneas com inclinação acima de 30% e rupturas positivas de declive
	Corridas de lama	Violenta torrente fluida de massa de solo e rocha ao longo dos talvegues de vale encaixados, originada da confluência de material de inúmeros escorregamentos planares ocorridos nas vertentes de vales
	Desprendimento em rocha	Queda de blocos e lascas de superfícies rochosas naturais expostas; rolamento de matacões superficiais
Induzidos	Movimentação de talus e corpos coluvionares	Movimentos de grandes massas coluvionares quando cortadas ou sobrecarregadas por algum tipo de intervenção humana
	Escorregamentos rotacionais profundos	Escorregamentos de grandes massas de solo devido especialmente a escavações de pé de talude, sobrepeso, alterações de drenagem e desmatamento, etc.
	Escorregamentos translacionais rasos (ou planares)	São ocasionados por cortes no terreno, concentração de águas superficiais, desmatamento, sobrepeso de aterros e lixo.
	Desprendimentos em rocha	Queda de blocos individualizados ou desmoronamento de conjunto de blocos por combinação desfavorável de planos estruturais da rocha com plano de talude de corte, vibrações no terreno, descalçamento erosivo de matacões, etc
	Colapso em saprolito fraturado	Desmoronamento de grandes massas de rocha alterada e fraturada pela combinação desfavorável de orientações espaciais de estrutura da rocha, diferentes graus de alteração, inclinação do plano de talude de corte e direção de estrada

Quadro 2. Classificação dos movimentos gravitacionais de massa. Modificado de Santos, (2004).

Na figura 15 pode-se observar feições que indicam a ocorrência dos movimentos gravitacionais na área de estudo. Na imagem A observamos um processo de corrida de massa, onde o solo encharcado movimenta-se devido a alta declividade e a presença de uma superfície impermeável (Embasamento Cristalino) abaixo do solo. A imagem B mostra um processo de rastejo que apresenta um deslocamento lento, mas constante, este processo está associado a retirada da cobertura vegetal e do apoio lateral (cortes no pé da encosta e retirada de material). Já a imagem C exibe um escorregamento circular comum em encostas com solos homogêneos, que apesar da

resistência do solo ser independente da profundidade, em seu sopé esta encosta possui baixa resistência e altas pressões.

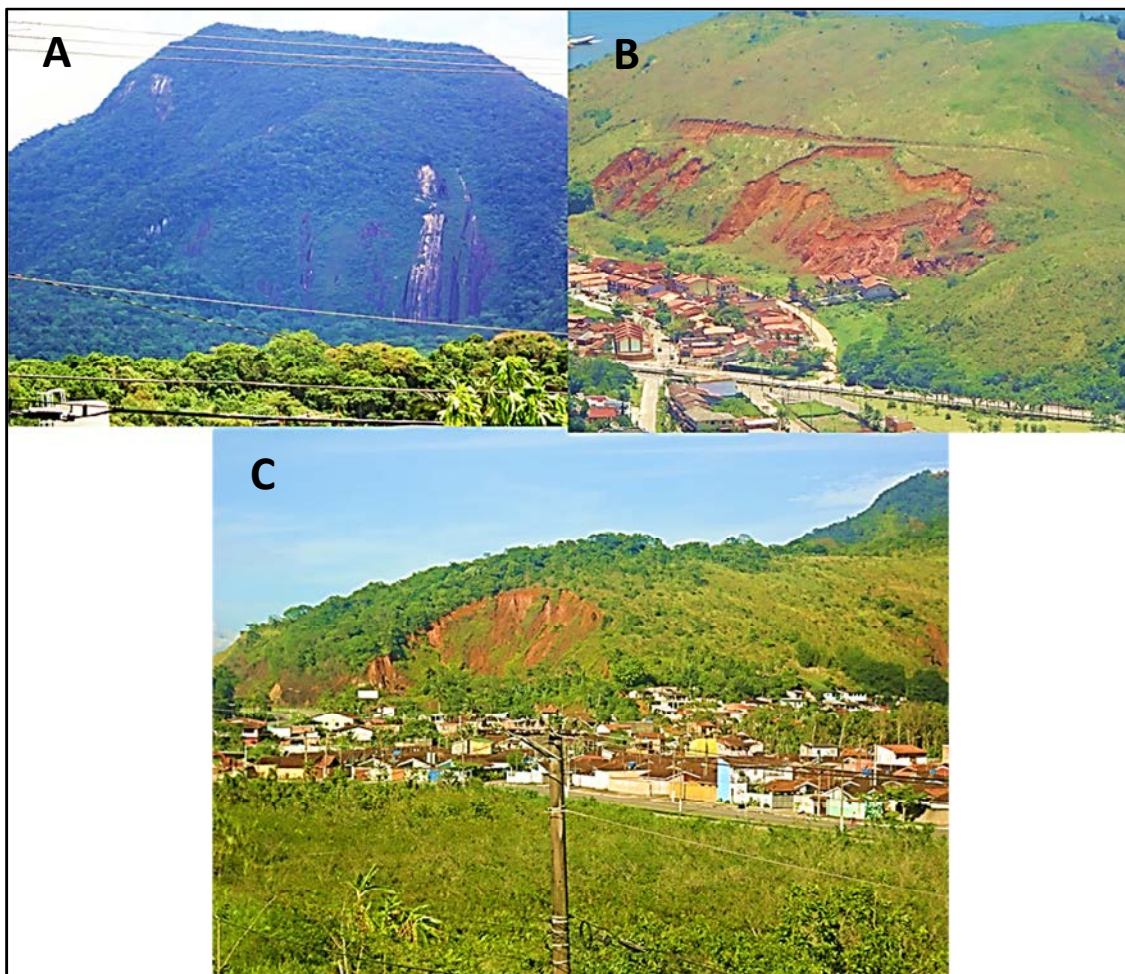


Figura 15. Feições que indicam a ocorrência dos movimentos gravitacionais na área de estudo. Foto:CAM.

Várias feições podem atuar como fatores condicionantes de movimentos de massa, determinando a localização espacial e temporal destes movimentos em campo, muitas destas feições possuem sua origem associada a processos geológicos e geomorfológicos que atuaram no passado e que, em muitos casos, ainda atuam naqueles locais (FERNANDES e AMARAL, 2003).

Na presente tese foram utilizados os termos deslizamento e movimento de massa, como sinônimos, isto é, para qualquer processo de movimento gravitacional da encosta, independente do tipo de material, dos mecanismos de ruptura, das velocidades de movimento e da geometria do material movimentado.

3.2.1 Condicionantes geológicas

Várias feições podem atuar como fatores condicionantes de movimentos de massa, determinando a localização espacial e temporal destes movimentos em campo, muitas destas feições possuem sua origem associada a processos geológicos e geomorfológicos que atuaram no passado e que, em muitos casos, ainda atuam naqueles locais (FERNANDES e AMARAL, 2003).

Os fatores geológicos que condicionam os movimentos de massa levam em conta o tipo e a distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas, que apresentam diferentes comportamentos quanto à resistência ao cisalhamento, permeabilidade e outras características. Cada litologia comporta-se de forma diferente frente aos fenômenos de instabilidade. Sendo assim, os materiais do substrato podem ser divididos em maciços rochosos e maciços terrosos, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas, com características geotécnicas específicas.

Os processos de instabilização em maciços rochosos ocorrem principalmente em taludes de corte e em áreas de escarpa. O grau de alteração da rocha e as estruturas anisotrópicas existentes no maciço, tais como: falhas, disjunções e juntas de alívio servem como zonas preferenciais de percolação de água e alteração de rocha, diminuindo a resistência e atuando na deflagração dos processos de instabilização.

Estruturas geológicas como falhas e fraturas representam importantes descontinuidades mecânicas e hidráulicas, podendo condicionar diretamente o mecanismo e a geometria da ruptura, conforme mostrado na Figura 16.

Falhas correspondem a estruturas planares, ou curvilineares, por meio da qual a rocha foi deslocada em uma direção, geralmente contida no plano de fratura, e atuam como caminhos preferenciais de alteração, permitindo que a frente de intemperismo avance para o interior do maciço de modo muito mais efetivo (FERNANDES e AMARAL, 2003).

A distribuição espacial e a relação entre suas atitudes (direção e mergulho) é outro fator que rege os mecanismos de instabilização. A intersecção de planos de falha com outras descontinuidades (fraturas de alívio, fraturas tectônicas, bandamentos composicionais) resulta na individualização de blocos não alterados no interior de uma massa bem mais intemperizada,

gerando um aumento na heterogeneidade do maciço rochoso como um todo (FERNANDES e AMARAL, 2003).

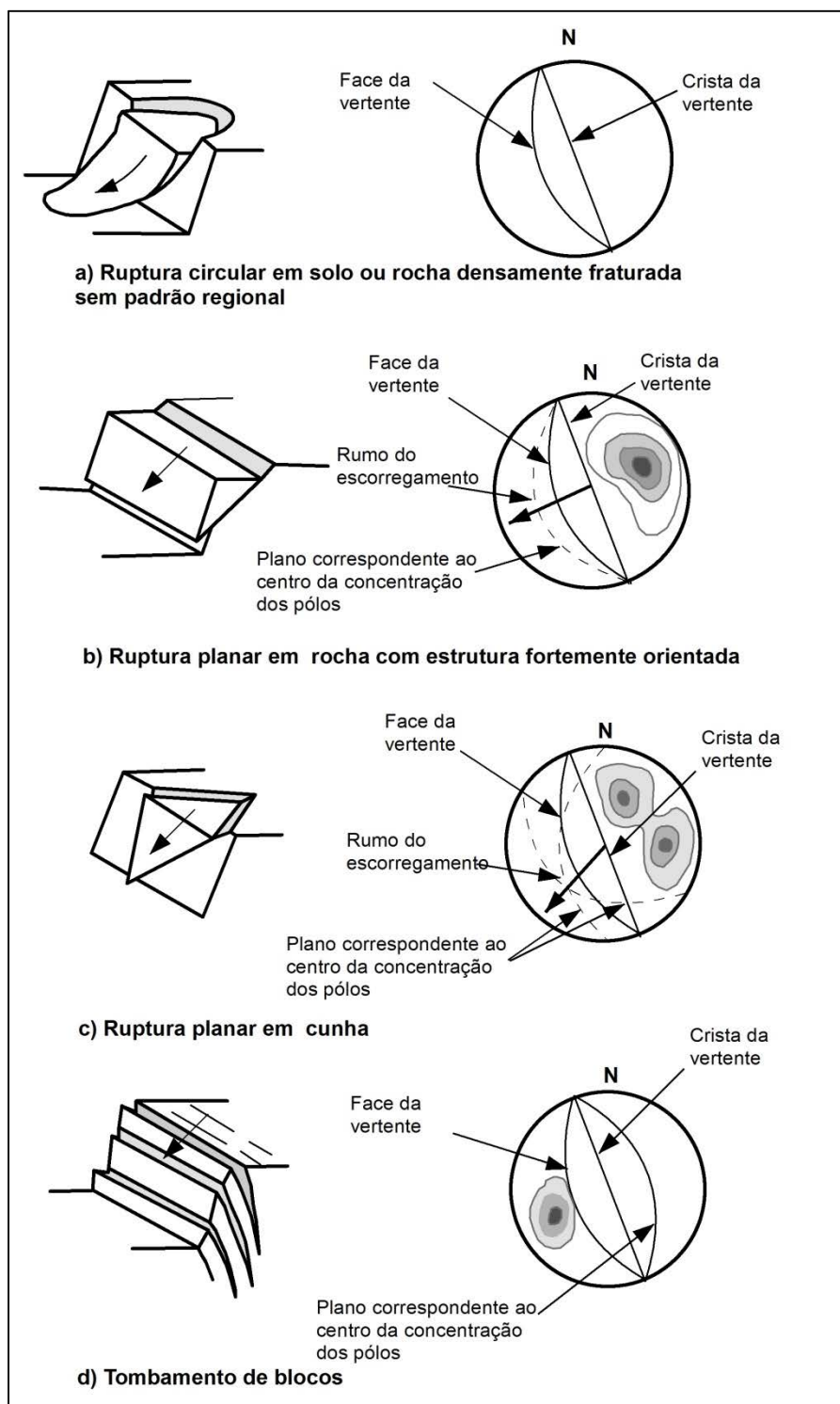


Figura 16. Influência da distribuição espacial das descontinuidades em maciços rochosos nos tipos de ruptura (Hoek e Bray, 1981).

3.3 Análise e interpretação de imagens

Na presente pesquisa utilizou-se do método sistemático de fotointerpretação geológica inicialmente estabelecida por Guy (1966), adequada para as condições brasileiras por Rivereau (1972) e Soares e Fiori (1978), adaptado para imagens de satélite por Veneziani e Anjos (1982).

O processo de fotointerpretação inicia-se com a identificação dos elementos da imagem com os objetos e a análise das relações entre as imagens e, finalmente, a descoberta ou avaliação do significado e função dos objetos e suas relações. Os processos envolvidos são os seguintes:

- fotoleitura: reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição;
- foto-análise: estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes de imagens;
- fotointerpretação: estudo da imagem fotográfica visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens (SOARES; FIORI, 1978).

Conforme Rivereu, (1969) a delimitação das zonas homólogas é realizada com base na densidade de textura da imagem. Na interpretação das imagens segundo Soares e Fiori (1978), pode-se atribuir as propriedades de densidade textural, tropia, permeabilidade, plasticidade/ruptibilidade e alterabilidade do maciço a cada zona homóloga.

Estas zonas são consideradas homogêneas, pois representam coberturas de alteração intempérica com a mesma resposta espectral nas imagens de satélite. A interpretação desta resposta espectral esta relacionada à análise dos elementos texturais de relevo e de drenagem considerando os aspectos de homogeneidade e similaridade das zonas, em função da escala de trabalho adotada.

Na abordagem fisiográfica ou de paisagem, os elementos componentes do terreno são analisados ao mesmo tempo, geralmente por meio de fotointerpretação, onde são delimitadas diferentes unidades de terreno, que

representam diferentes associações dos elementos ambientais. Essas unidades são caracterizadas quanto suas propriedades e características e avaliadas em termos de diagnóstico e prognóstico ambiental (VEDOVELLO, 2000).

A extração dos dados pelo método sistemático inicia-se na análise da imagem considerando as características de textura, estrutura e forma da feição, e em seguida atribuindo-se um significado a estas características de acordo com o objetivo da análise. Na interpretação busca-se identificar materiais, fenômenos e processos do meio físico com a individualização de zonas homólogas.

Os atributos das unidades geoambientais permitirão fazer inferências sobre as características geotécnicas dessas unidades, ou seja, a partir da análise textural pode-se buscar determinar os fatores ambientais que originaram esta textura (CAETANO, 2006). De forma a garantir uma melhor compreensão dos termos utilizados na tese estes foram definidos no quadro 7.

Termo	Definição
Atributo	Aquilo que é próprio ou peculiar de alguém ou de alguma coisa (propriedade, qualidade, símbolo) é a qualidade que atribui ao sujeito: predicado.
Característica	O que caracteriza ou define o caráter, descreve com exatidão.
Propriedades	Qualidade do que é próprio, particularidade, caráter, qualidade especial.
Próprio	O que pertence exclusivamente a um indivíduo, que não pertence a outrem, privativo, peculiar, preciso, qualidade particular.
Fatores	Aquilo que determina ou faz alguma coisa, cada um dos elementos que concorrem para um resultado.

Quadro 3. Definição dos termos utilizados na fotointerpretação.

A análise e interpretação de imagens baseiam-se na extração de unidades homogêneas ou zonas a partir das propriedades texturais das imagens orbitais. Com a identificação de diferentes densidades de textura é possível estabelecer a ordenação dos elementos de textura e com isso definir estruturas, as quais são qualificadas em função das intensidades de sua organização (grau de estruturação e da complexidade de organização (ordem

de estruturação). No quadro 4 observa-se a caracterização dos tipos de propriedades texturais.

PROPRIEDADE TEXTURAL	CARACTERIZAÇÃO
Tipo de elemento de textura	Esta propriedade define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, podendo se, por exemplo, um segmento de relevo ou drenagem.
Densidade de textura	Quantidade de elementos texturais de um mesmo tipo, por unidade de área da imagem podendo ser alta, baixa, moderada.
Arranjo Textural	Refere-se à maneira como os elementos texturais se dispõem espacialmente (ordenada ou não) permitindo classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem (drenagem de padrão dendrítica, anelar, etc.)
Grau de estruturação	Trata da definição da organização espacial dos elementos texturais, em função do seu arranjo textural podendo ser alto, médio, baixo, etc.
Ordem de estruturação	Refere-se à complexidade de organização dos elementos texturais, sendo a sua classificação dada em função da ocorrência ou não de uma ou mais estruturas sobrepostas.

Quadro 4. Propriedades das formas texturais em imagens de satélite. Fonte: Veneziani, 1982.

A menor superfície contínua e homogênea, distinguível na imagem fotográfica e possível de repetição, é denominada elemento de textura ou elemento textural. Uma das propriedades do elemento textural é a de repetição, com forma e dimensão definidas (RIVERAU, 1972). Os fatores que controlam a textura e a estrutura dos elementos são segundo Veneziani, (1991):

- **Morfoгенéticos**- responsáveis pela elaboração das formas de relevo e drenagem. A modelagem do terreno é função da estrutura do terreno e dos agentes modeladores externos (meteorização, erosão fluvial eólica, erosão glacial, erosão marinha e erosão causada por ações antrópicas e fatores internos (processos tectônicos).
- **Litológicos**- dependem das propriedades físico-químicas dos materiais rochosos (resistência à erosão (alterabilidade), permeabilidade, plasticidade, solubilidade e tropia);
- **Deformacionais**- são fatores resultantes das deformações sofridas pelos materiais rochosos, tectônica ou atectonicamente.

A análise destes fatores e seus efeitos dependem do conhecimento que se tem das propriedades dos materiais e da dinâmica atuante no processo

morfogenético. No quadro 5 os elementos do meio físico que podem ser considerados na fotointerpretação e os aspectos ambientais considerados para cada um deles nesta análise.

Elementos Componentes do meio físico		Aspectos considerados
Rochas		Litologia e estrutura.
Relevo		Forma de relevo e vertente, declividade e feições ou processos geológicos e geomorfológicos.
Materiais inconsolidados (solos e sedimentos)	e	Espessura, composição e perfil intempérico.

Quadro 5. Elementos componentes do meio físico analisados e aspectos considerados na fotointerpretação.

Os elementos fundamentais na análise do relevo para interpretação geológica são as rupturas de declive. As pequenas rupturas de declive definem os elementos texturais do relevo, caracterizados pelas menores variações bruscas, identificáveis na foto, da superfície do terreno (SOARES e FIORI, 1976).

4. MATERIAIS E TÉCNICAS

Neste trabalho os programas empregados foram o ArcMap 9.3 da ESRI e o Spring 5.2 do INPE, utilizados no georreferenciamento dos dados, implementação do banco de dados geográficos e edição dos produtos, obtenção dos dados necessários aos cálculos morfométricos e elaboração dos diagramas de rosetas. Para elaboração dos perfis longitudinais das bacias hidrográficas foi utilizado o programa Global Mapper 11.

Toda a base cartográfica foi organizada através do Sistema de Coordenadas Geográficas, utilizando-se o Datum South American 1969 (SAD69). A projeção cartográfica definida para o Sistema de Banco de Dados Geográfico foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), sendo a área de estudo pertencente ao fuso 23.

Os dados cartográficos, planimétricos e para georreferenciamento utilizados foram obtidos na base cartográfica do IBGE, em escala 1:50.000 e do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação e Elaboração de Cartas SAO: Litoral Paulista.

Também foram utilizadas as cartas topográficas escala 1:50.000 do IBGE: Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2), Caraguatatuba (SF -23-Y-D-VI-1), Maresias (SF-23-Y-D-V-4) e São Sebastião (SF -23-Y-D-VI-3), editadas em

1974, 1976, 1973 e 1969, respectivamente. As folhas topográficas na escala 1:50.000 em formato *tiff* e *shape*, foram obtidas no site do IBGE.

As imagens de satélite utilizadas foram do satélite Landsat 7, sensor ETM+, com órbita/ponto 218/076, de 14 de agosto de 2006. Também foram utilizadas as imagens do satélite Cbers 2B, câmera de alta resolução (2,5m x 2,5m), de 03/09/2008, 13/07/2008 e 24/04/2008. Todas estas imagens foram obtidas gratuitamente no catálogo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Para a elaboração do inventário de cicatrizes de escorregamentos foram utilizadas as ortofotos da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, escala 1:10000 do ano de 2000. As ortofotos utilizadas no mosaico foram as seguintes: 2795-21, 2795-22, 2796-11, 2796-12, 2795-23, 2795-24, 2796-13, 2796-41, 2795-42 e 2796-31.

5. MÉTODOS

Na sequência o resumo de cada uma das etapas da sistematização do Zoneamento Geoambiental. Esta sistemática permite a aplicação para múltiplos usos, necessitando apenas uma adaptação de acordo com objetivos do zoneamento. Para a adaptação da sistemática deve-se partir do estabelecimento de um referencial (bibliográfico e cartográfico) que possibilite alcançar os objetivos do planejamento socioambiental ou econômico-político anteriormente estabelecido ao zoneamento quando do seu contrato pelos órgãos da sociedade. As etapas da sistemática de zoneamento geoambiental proposta nesta tese estão enumeradas no quadro 6.

5.1 Etapas da sistematização do Zoneamento geoambiental

De acordo com Jiménez-Rueda et al. (1995), o método de zoneamento geoambiental consiste em um levantamento sistemático de atributos e características geológicas (litologia), fisiográficas (formas e grau de dissecação do relevo e paisagens), morfoestruturais (estruturas positivas e negativas), morfotectônicas (lineamentos), de coberturas de alteração intempérica (alterações físicas e químicas do material), geopedológicas e climáticas, organizadas em zonas e subzonas geoambientais, as quais apresentam as potencialidades e suporte do meio físico, de acordo com os condicionantes naturais, em função dos modificadores socioeconômicos.

Etapas da Sistemática para elaboração do Zoneamento Geoambiental	1. Definição do referencial necessário para execução do zoneamento geoambiental.
	2. "Diagnóstico Zero" com obtenção das informações preliminares de acordo com o referencial pré estabelecido para o zoneamento geoambiental
	3. Tomada de decisão primária em relação ao "Diagnóstico Zero"
	4. Trabalho de campo preliminar
	5. Geração das cartas básicas (geológica, pedológica, geomorfológica, climática, hidrológica e vegetacional)
	6. Compartimentação das Zonas Geoambientais
	7. Compartimentação das Sub-zonas Geoambientais
	8. Análise morfotectônica
	9. Análise morfoestrutural
	10. Análise morfométrica de bacias
	11. Trabalho de campo para validação dos produtos cartográficos e obtenção de amostras
	12. Execução de ensaios e análise de resultados.
	13. Geração das Cartas temáticas

Quadro 6. Etapas da sistemática de elaboração de Zoneamento Geoambiental.

Na sequência estão definidas cada uma das etapas enumeradas no quadro 6.

Etapas da Sistemática para elaboração do Zoneamento Geoambiental

A definição do referencial está relacionada com o objetivo pré-estabelecido para o zoneamento, ou seja, o referencial será definido de acordo com sua aplicação final, a qual será estabelecida pelos órgãos solicitantes (municipais, federais, empresas privadas, entre outros). Para a definição do referencial serão considerados:

- Os produtos técnicos e materiais necessários;
- As escalas de trabalho necessárias para a compreensão do objeto ou fenômeno estudado;
- Os fatores condicionantes das causas do fenômeno analisado.

Etapa 2. Diagnóstico Zero

A segunda etapa para a elaboração do Zoneamento Geoambiental consiste na execução de um “Diagnóstico Zero” da área de estudo, com o levantamento das fontes bibliográficas e cartográficas já pré-existentes. O levantamento das fontes, principalmente cartográficas deve considerar a escala de trabalho a ser utilizada considerando o objetivo específico do zoneamento, ou seja, o referencial necessário para determinação dos processos solicitados na proposta de trabalho. A escala dos levantamentos precisa estar de acordo com sua aplicação final, ou seja, precisa permitir a delimitação e identificação dos fenômenos estudados no zoneamento.

A escala cartográfica usada a ser utilizada esta relacionada ao objetivo do zoneamento proposto, por exemplo, em mapeamentos que busquem o planejamento da expansão urbana de um município ou de uma região podem-se utilizar escalas menores de até (1:50.000 e 1:100.000 e), visto que no planejamento buscamos uma visão mais amplas dos processos. No entanto, em zoneamentos que busquem a identificação de movimentos de massa ou processos erosivos as escalas necessárias são bem maiores (entre 1:10.000 e 25.000), pois a escala destes processos é local e necessita de uma visão em detalhe.

Para a determinação do material de referência necessário também esta incluída a determinação dos fatores a serem considerados em cada zoneamento de acordo com sua aplicação, como por exemplo, se este zoneamento será aplicado à valoração de terras, aptidão agrícola, áreas de expansão urbana, abastecimento de represas, identificação de áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa, entre outros. Cada um destes usos necessita de análise de fatores específicos na busca de sua compreensão. Para exemplificar observe o quadro 7.

Aplicação	Fatores
Valoração de terras	Fertilidade do solo, cobertura de alteração intempérica
Processos erosivos e movimento de massa	Declividade, litologia e estrutura, profundidade do manto de alteração.
Aptidão agrícola	Cobertura de alteração intempérica, fertilidade do solo, declividade

Quadro 7. Fatores a serem considerados de acordo com a aplicação do zoneamento.

No que se refere à precisão geográfica das cartas e mapas utilizados recomenda-se a utilização de bases cartográficas confiáveis e se necessário dados de GPS, também se recomenda que todos os mapas temáticos possuam uma mesma escala de detalhamento, evitando generalizações excessivas que possam comprometer o diagnóstico zero, como também os produtos temáticos finais do zoneamento.

Etapa 3. Tomada de decisão primária em relação ao "Diagnóstico Zero"

Em seguida a avaliação dos produtos pré-existentes toma-se a decisão quanto à necessidade de complementar, adequar ou atualizar esses produtos segundo as necessidades do nível de informação do zoneamento requerido. Os produtos cartográficos pré-existentes, por exemplo, devem contemplar os fenômenos prioritários ao zoneamento.

Após a tomada de decisão em relação aos produtos pré-existentes de referência - que serão utilizados, detalhados ou descartados no zoneamento - inicia-se a geração das cartas básicas. As cartas básicas consistem em: topográficas, geológicas, pedológicas, geomorfológicas, climáticas, hidrográficas, vegetacional e imagens de satélite.

Etapa 4. Trabalho de campo preliminar

O trabalho de campo preliminar permite reinterpretar as condições do meio físico adquiridas a partir de revisão bibliográfica e cartográfica, bem como

permite detalhar a interpretação das cartas topográficas e sensores remotos (através dos quais se adquire a fundamentação).

Com o trabalho de campo preliminar podemos estabelecer as zonas e subzonas geoambientais de acordo com a fisiologia da paisagem. Com isso, grandes limites geológicos e pedológicos podem ser definidos sem que, no entanto, características particulares fossem desconsideradas, objetivando a geração de mapas temáticos e informações atualizadas sobre a área em questão.

Etapa 5. Cartas básicas

As cartas básicas serão elaboradas a partir dos dados básicos de altimetria, hidrografia, limites, ortofotos, imagens de satélites e layers de sistema viários.

A execução destas cartas ocorrerá também a partir com a reinterpretção das condições hidrológicas (rede hidrológica e a densidade de drenagem), hipsométricas (altos e baixos topográficos), morfométricas (diferentes níveis de base e topos), geológicas (litológicas formais/alofornais; feições estruturais: lineamentos, traços de juntas, morfoestruturas), climáticas (paleo/atuais), geomorfológicas/fisiográficas, bióticas e pedológicas, adquiridas a partir de revisão bibliográfica.

As cartas básicas serão armazenadas no banco de dados e servirão a elaboração das cartas temáticas.

Etapa 6. Compartimentação das Zonas Homólogas, Subzonas e Unidades Geoambientais

A compartimentação das unidades geoambientais inicia-se na determinação das zonas homólogas e posteriormente na divisão destas em subzonas. A partir da fotointerpretação das imagens de satélite e da carta geológica serão delimitadas as zonas homogêneas.

Os critérios para a compartimentação das unidades geoambientais são baseados na textura das imagens. Conforme Rivereau (1969) a delimitação das zonas homólogas é realizada com base na densidade de textura na

imagem. É importante frisar que a repetição dos elementos texturais, com o mesmo grau e ordem de estruturação, permite definir zonas homólogas que, quando interpretadas passarão a constituir-se em unidades geoambientais.

Etapa 7. Trabalho de campo para validação dos produtos cartográficos e obtenção de amostras

Na etapa de trabalho serão efetuadas inspeções, verificações e confirmações das zonas, subzonas e unidades geoambientais compartimentadas, bem como a validação das feições morfoestruturais e morfotectônicas definidas nas análises. Nesta etapa as amostras obtidas (rochas/solo) também servirão ao propósito de validação dos produtos cartográficos elaborados.

Etapa 8. Execução de ensaios e análise de resultados

Os ensaios serão definidos de acordo com o propósito estipulado para o zoneamento geoambiental. Nesta etapa serão agregadas ao zoneamento as informações não possíveis de serem obtidas na fotointerpretação. As análises das amostras (rocha/solo) permitirão uma melhor compreensão das dinâmicas ambientais recentes e passadas atuantes nas unidades geoambientais. Estes resultados permitirão o aprimoramento das informações sobre as unidades geoambientais, o estabelecimento do potencial de uso e ocupação das unidades e também a melhora na definição dos limites destas unidades.

Etapa 9. Cartas temáticas e carta síntese

Tendo a definição das cartas básicas a serem utilizadas no zoneamento, parte-se para a etapa de elaboração das cartas temáticas. Estas cartas serão elaboradas já com foco no usuário final, portanto devem atender as necessidades sócio-ambientais a elas solicitadas. Essas cartas permitirão a construção da carta síntese que nesta tese trata-se do Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

Com a integração de uma série de elementos do meio físico simultaneamente, o produto cartográfico obtido permitirá obter uma visão geossistêmica das zonas, sub-zonas e unidades geoambientais. Essa visão

permite compreender a geodinâmica atuante nas unidades geoambientais. Para alcançar este objetivo é necessária uma análise interdisciplinar dos resultados que só poderá ser alcançada com uma equipe multidisciplinar de profissionais ou por profissionais com consistente formação multidisciplinar.

5.2 Fluxograma do zoneamento geoambiental organizado na tese

Na sequência na figura 17 o fluxograma representativo das etapas e procedimentos adotados nesta tese para sistematização do zoneamento geoambiental com vistas à determinação da suscetibilidade ambiental a movimentos gravitacionais de massa.

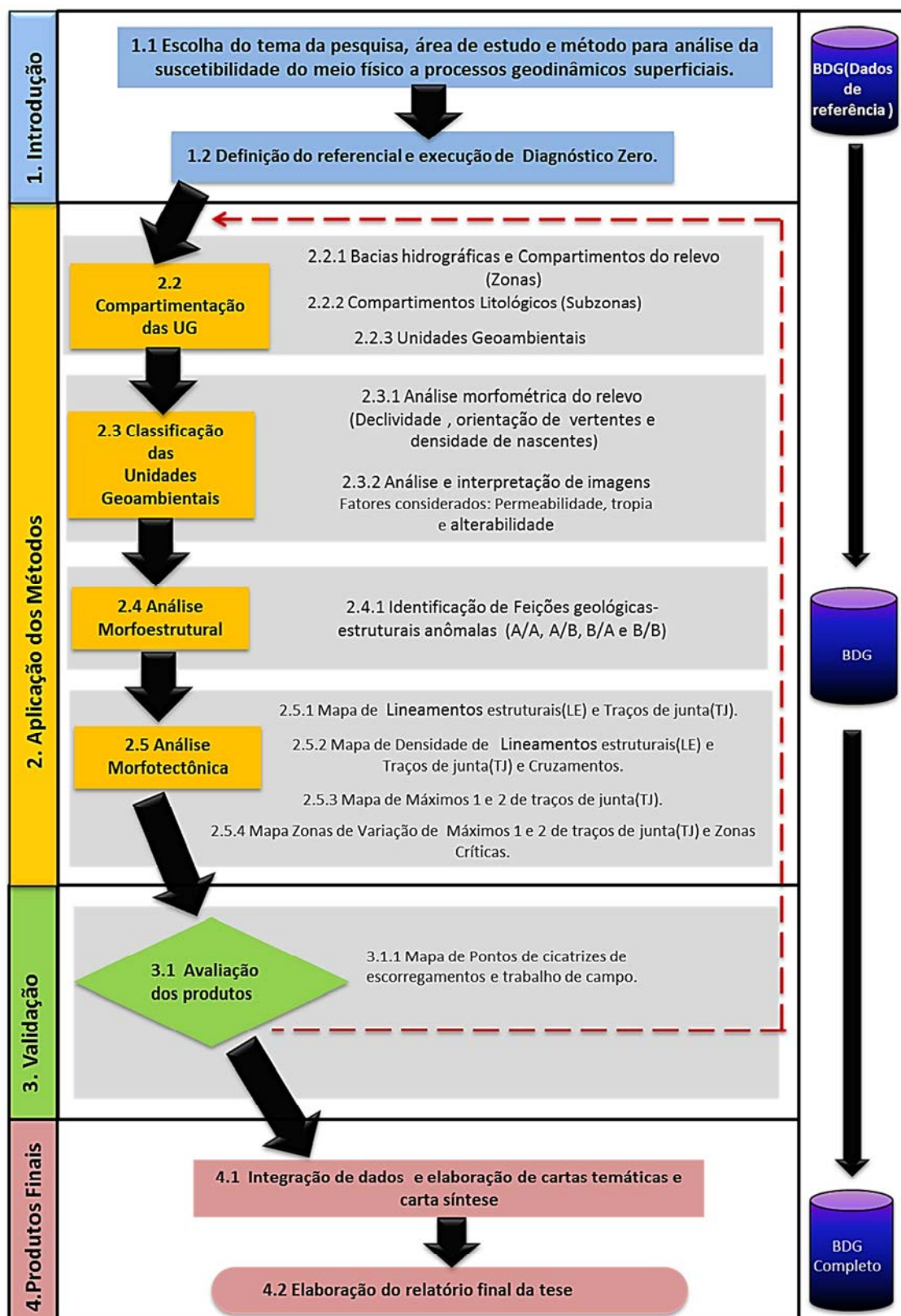


Figura 17. Etapas e procedimentos para elaboração do Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

5.3 Compartimentação das Unidades Geoambientais

As Unidades Geoambientais foram obtidas mediante compartimentação fisiográfica das unidades que consiste, segundo Vedovello (2000), em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas distintas das áreas adjacentes. Conforme Jimenez-Rueda et al. (1995), as zonas geoambientais são determinadas conforme as características de potencialidade e suporte do meio físico, sendo considerados seus aspectos da drenagem e morfotectônica, com os adensamentos de traços de fraturas e lineamentos estruturais.

Os limites das zonas geoambientais são definidos por contatos litológicos que podem ser limites erosivos e descontinuidades estruturais (discordâncias e falhas). Estas zonas são condicionadas por deformações tectônicas que moldam as formas de relevo e definem seus respectivos graus de alteração intempérica. As variáveis consideradas são os tipos de paisagens ou unidades fisiográficas, graus de dissecação do relevo e processos específicos de alteração intempérica ou do tipo de colóide intempérico predominante (paragênese de colóides) que resulta em um mapa de zonas e subzonas geoambientais (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1995).

As Unidades Geoambientais constituem uma síntese das informações referentes à morfogênese, litologia e deformação. Desta forma, os limites entre as Unidades Geoambientais podem ser definidos por contato entre litologias, coberturas pedológicas, estruturas geológicas ou por mudanças nos processos atuantes no meio físico. Vale ressaltar que quaisquer destas mudanças denotam variação em aspectos do relevo e conseqüentemente na textura da imagem.

Na presente tese a compartimentação das Unidades Geoambientais foi realizada após a compartimentação das bacias hidrográficas de forma que cada unidade pudesse ser associada ao comportamento hidrológico destas bacias no Mapa de suscetibilidades do meio físico a movimentos gravitacionais de massa. Este mapa considerou apenas as zonas geomorfológicas de Planaltos Serranos e Escarpas costeiras, já que as áreas da baixada litorânea

não estão contidas neste estudo, pois os atributos e métodos utilizados não se mostraram eficientes para detecção destes processos nestas áreas.

A divisão das Zonas, Subzonas e Unidades geoambientais seguiu a seguinte ordem: no primeiro nível de compartimentação foram divididos os compartimentos do relevo em cada bacia hidrográfica; no segundo nível de compartimentação foram divididos os compartimentos litológicos e por fim foram compartimentadas as unidades geoambientais (figura 32).

5.4 Fatores predisponentes utilizados na classificação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa das Unidades Geoambientais

Os movimentos gravitacionais de massa são condicionados por complexas relações entre fatores geológicos, englobando as características lito-estruturais e tectônicas, geomorfológicos, climáticos e antrópicos. Como causas geológicas para movimentos de massa, podemos citar:

- a) materiais pouco resistentes ou sensíveis;
- b) materiais alterados;
- c) materiais fissurados;
- d) orientação desfavorável de descontinuidades (acamamento, xistosidade, falhamento, inconformidade);
- e) contraste na permeabilidade ou baixa consistência dos materiais.

Os principais condicionantes geomorfológicos são:

- a) soerguimento tectônico ou vulcânico;
- b) erosão fluvial, marinha ou glacial no pé da encosta ou margens laterais;
- c) erosão subterrânea (*solution, piping*);
- d) morfologia da encosta;
- e) deposição ou carregamento sobre a encosta ou na crista da encosta;
- f) remoção da vegetação.

Também podemos citar como causas humanas condicionantes dos movimentos de massa a:

- a) escavação da encosta ou de seu pé;
- b) carregamento da encosta ou de sua crista;
- c) desmatamento;
- d) irrigação;

- e) mineração;
- f) vazamento de águas servidas e
- g) vibrações artificiais.

Guidicini e Nieble (1984) utilizaram os termos agentes e causas de instabilização para discutir os condicionantes, entendendo como causa o modo de atuação de determinado agente na instabilização de uma encosta. Os agentes são divididos em predisponentes (características naturais intrínsecas do terreno) e efetivos (são os agentes diretamente responsáveis pelo desencadeamento das instabilizações da encosta). Na presente tese analisamos a suscetibilidade do meio físico, ou seja, dos agentes predisponentes.

No quadro 8 divisão dos agentes em predisponentes e efetivos e a das causas em internas, externas e intermediárias em relação à instabilização de encosta por movimentos gravitacionais de massa.

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

Quadro 8- Agentes e causas de movimentos de massa (Guidicini e Nieble, 1984).

Nos itens 5.4.1 e 5.4.2 podemos observar o detalhamento dos fatores considerados nesta tese.

5.4.1 Análise morfométrica do relevo

Os mapas morfométricos são documentos que permitem uma análise quantitativa das características do relevo, através de sua geometria, proporcionando o entendimento da estrutura morfológica do sistema relevo e a identificação de áreas potencialmente suscetíveis à ação morfogenética. Estas

análises são úteis ao planejamento ambiental por identificarem espaços cuja interferência antrópica pode dinamizar os processos de degradação geomorfológica e ambiental.

Neste trabalho a extração das variáveis morfométricas foi feita de forma automática no programa ArMap 9.3. Para classificação dos atributos morfométricos para cada unidade geoambiental utilizou-se o intervalo ou classe predominante em cada unidade.

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) elaborado serviu para geração dos mapas de Classes de Declividade e Orientação de Vertentes (figura 18 e figura 19). Este MNT foi gerado a partir das curvas de nível das curvas de nível de 20 em 20 metros obtidas no IBGE.

Nesta etapa foram considerados três fatores morfométricos que interferem na ocorrência dos processos erosivos e gravitacionais no meio físico são eles: declividade, densidade de nascentes e orientação de vertente.

Mapa de declividade

O mapa de declividade tem como objetivo quantificar a inclinação ou o declive do terreno. Esta mapa foi obtido do modelo numérico de terreno (MNT) elaborado na extensão 3D Analyst do ArcMap 9.3, das curvas de nível de 20 em 20 metros obtidas no IBGE. A declividade foi calculada em graus com célula de saída de 75 metros.

A declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação a um plano horizontal (expressa em graus ou porcentagem). A declividade das encostas é o principal fator do relevo condicionante de movimentos gravitacionais de massa de escorregamentos. Segundo Cruz, 1974 as vertentes com inclinação acima de 35% (aproximadamente 25°), tem grande tendência a escorregamentos independente da cobertura florestal ou intervenção antrópica.

Fernandes et. al, (2001) determinou que o potencial de deslizamento de encostas no Maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro diminui a partir de ângulos próximos a 55,5°, sendo que a partir daí, alcançam um limite crítico e novos incrementos na declividade, ao contrário acarretam uma diminuição no

potencial de deslizamentos. Outros estudos anteriormente realizados (GAO, 1993; TORRES, 1998, apud FERNANDEZ et al. 2001) dão suporte a ideia de limite crítico da declividade.

As classes de declividade empregadas foram de 0 a 8°, de 8,01 a 20°, de 20,01 a 45° e maior que 45°. O mapa obtido pode ser observado na figura 18. Devido à predominância do relevo escarpado a classe de 20,01-45° foi predominante. Levando em consideração o anteriormente exposto à classe de declividade acima de 45° foi atribuído valor inferior ao intervalo entre 20,01-45°. Detalhes podem ser observados no item *6.4.2 Validação dos resultados e escolha de pesos e valores para fatores*.

Para a classificação das unidades geoambientais quanto à declividade adotou-se a classe de declividade predominante nos limites de cada unidade geoambiental.

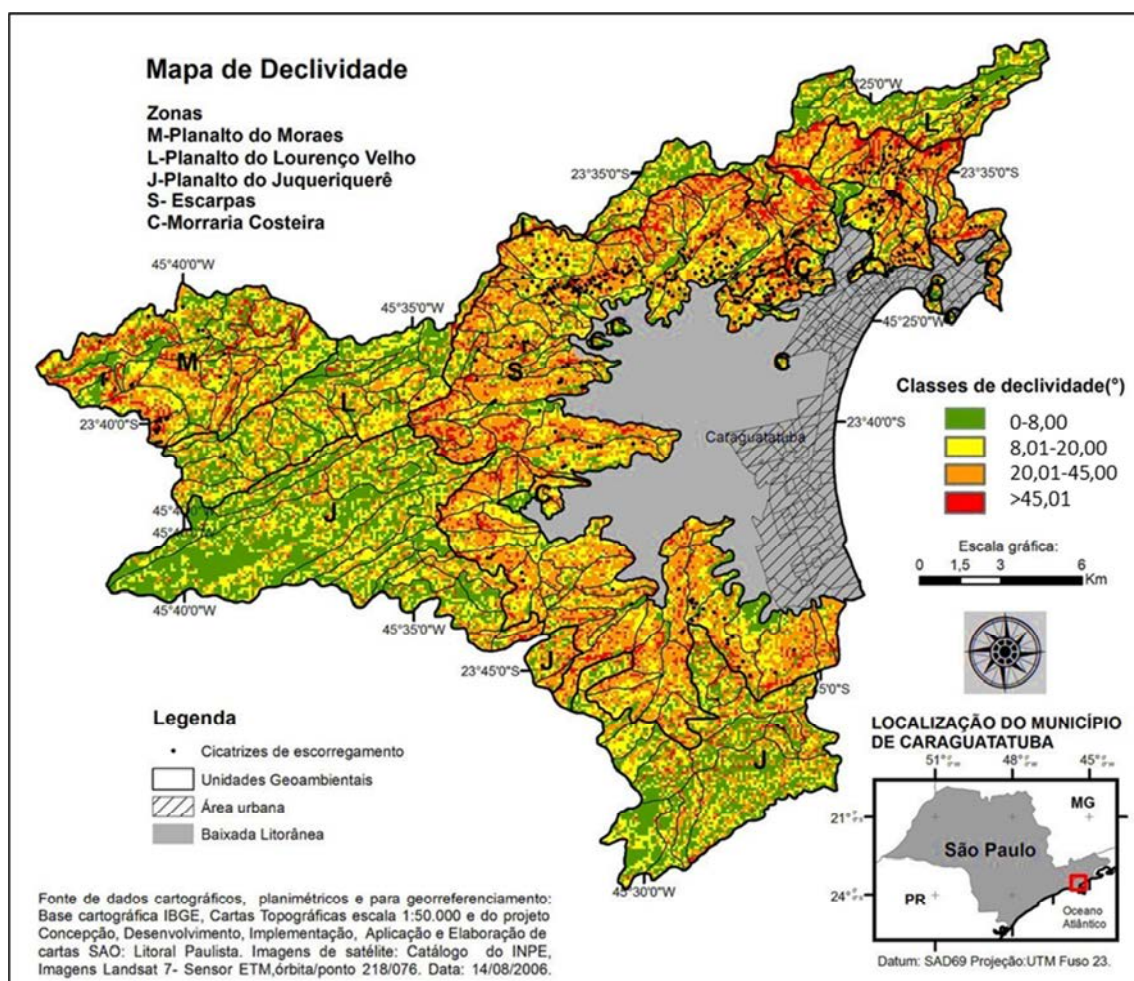


Figura 18. Representação do Mapa de Classes de Declividade.

Mapa de orientação de vertentes

A orientação das encostas fornece informações sobre a exposição frente às variáveis climáticas, tais como o vento, precipitações atmosféricas e insolação. O mapa de orientação das vertentes foi elaborado no programa ArcMap 9.3 com a extensão *3D Analyst* na função *aspect*, a partir do modelo numérico de terreno, com célula de saída de 75 metros. Essa ferramenta identifica a orientação da declividade baseada em um algoritmo que analisa os valores de elevação das oito células adjacentes, pode ser pensado também como a direção da inclinação. O mapa de orientação de vertentes obtido pode ser observado na figura 19.

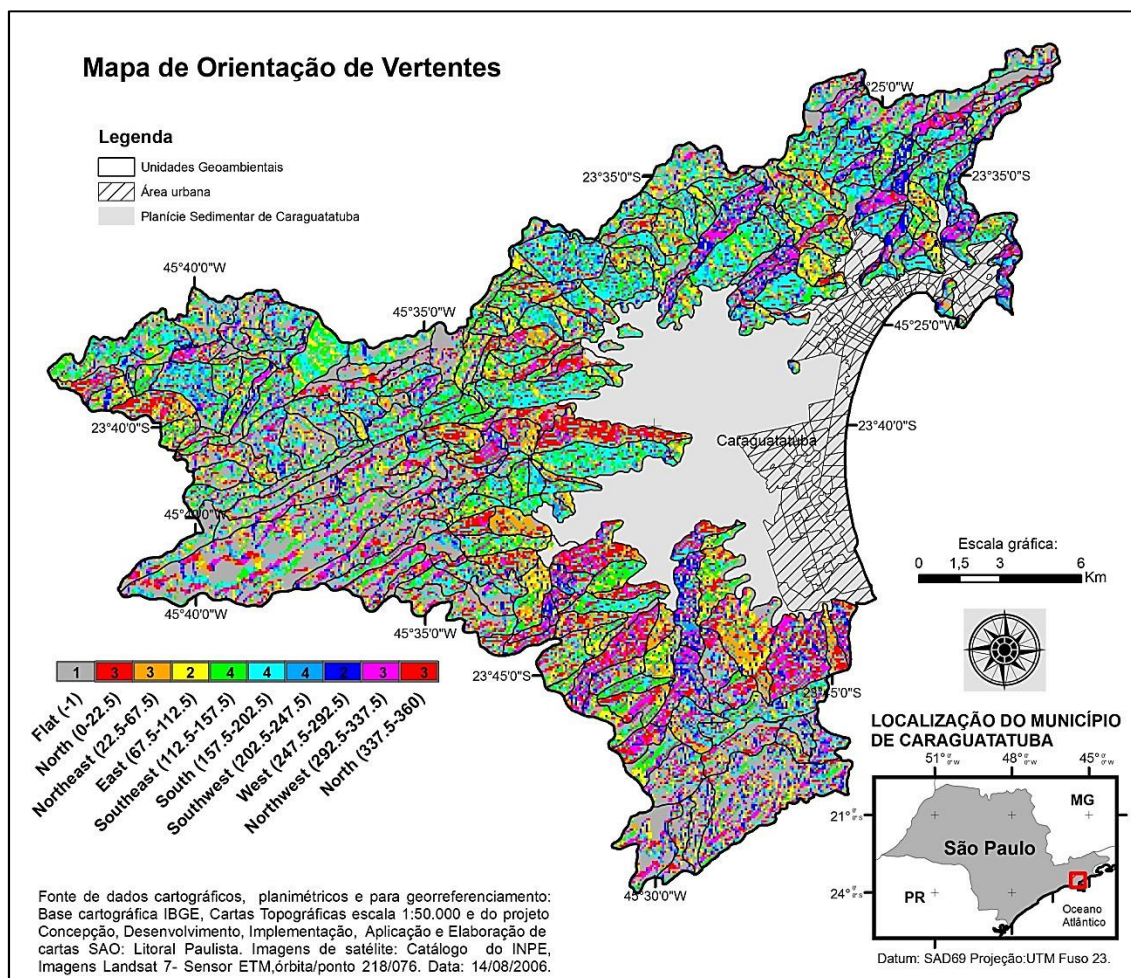


Figura 19. Representação do Mapa de Orientação de vertentes.

Segundo Oliveira (1984, p.48) a orientação de vertentes é um parâmetro que determina o grau de insolação sob as vertentes durante o dia em decorrência do movimento do sol. A variação do número de horas de radiação direta entre as vertentes caracteriza vertentes mais secas ou mais úmidas.

Dai e Lee (2001) afirmam que a orientação das encostas afeta indiretamente a resistência ao cisalhamento em virtude de estar intimamente relacionada à presença de umidade e de cobertura vegetal. Além do que, as precipitações pluviométricas estão condicionadas à direção predominante dos ventos, isto é, a quantidade de chuva será maior nas encostas expostas a estes eventos atmosféricos.

O conhecimento da incidência de radiação solar em escala local é fundamental para estudos agroclimatológicos. A disponibilidade dessa

informação é essencial no desenvolvimento de projetos de aproveitamento da energia solar e agricultura (Fernandes Filho & Firme Sá, 2007).

De acordo com Pedrosa e Pereira (2011), a análise de exposição de vertentes revela-se essencial na determinação de suscetibilidade a movimentos de massa, pois esta conjugada a fortes declives condicionam o aparecimento e desenvolvimento de processos geomorfológicos específicos. Pedrosa e Pereira (2001) citam que múltiplos trabalhos têm demonstrado que em Portugal as vertentes voltadas aos quadrantes Norte são aquelas que em termos naturais, facilitam o aparecimento de movimentos de massa, em consequência da conservação de umidade no solo.

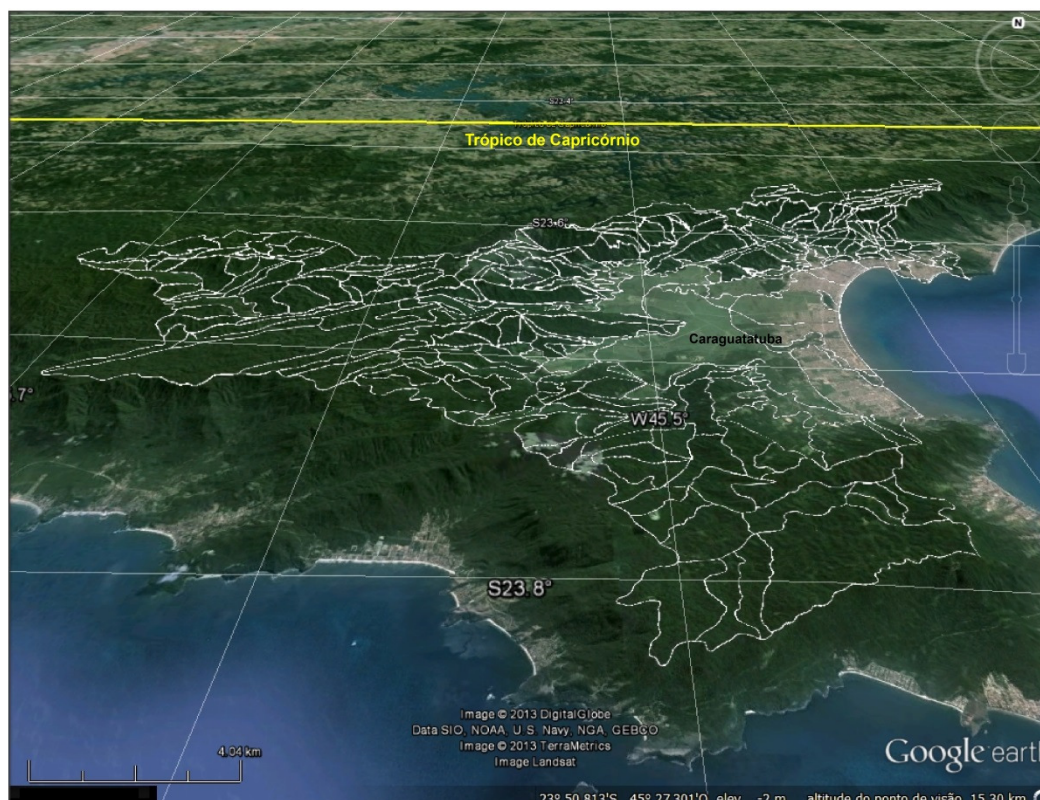


Figura 20. Localização do Trópico de Capricórnio em relação a área de estudo. Fonte: Google earth.

Devido a sua localização geográfica no município de Caraguatatuba a incidência da radiação solar acontece perpendicularmente as vertentes ao meio dia no solstício de verão e no resto do ano o sol descreve um arco no céu voltado para norte. Considerando as áreas abaixo do Trópico de Capricórnio (figura 20) a radiação solar nunca incide perpendicularmente ao solo. Isso faz com que terrenos com a orientação de vertente voltada para o norte recebam

mais radiação solar ao longo do ano do que terrenos com orientação de vertente voltada para o sul.

Neste trabalho devido a ênfase na identificação das unidades mais suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, as unidades geoambientais de orientação preferencial (SO/S/SE) foram classificadas como de maior tendência a escorregamentos (valor 4), por se tratarem de áreas com as vertentes mais úmidas, pois recebem mais umidade provinda do mar por efeito orográfico e também são menos expostas aos raios solares, principalmente no período do inverno.

Em contrapartida as vertentes de orientação predominante (NO/N/NE) foram classificadas como classe 3 em suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa, pois são as vertentes com maior exposição à radiação solar. Nestas vertentes o ressecamento do solo causa uma série de trincas que favorecem a infiltração da água no solo e consequentemente escorregamentos.

Orientação das vertentes	Intervalo °	Valor SA*	Rosa dos Ventos
Plano	-	1	
Norte	0-22.5/ 337.5-360	3	
Nordeste	22.5-67.5	3	
Leste	67.5-112.5	2	
Sudeste	112.5-157.5	4	
Sul	157.5-202.5	4	
Sudoeste	202.5-247.5	4	
Oeste	247.5-292.5	2	
Noroeste	292.5-337.5	3	
*Suscetibilidade ambiental			

Quadro 9. Classes estabelecidas para orientação das vertentes.

Na sequência de classificação as vertentes leste e oeste foram classificadas com valor 2 na hierarquização a tendência a processos geodinâmicos. As unidades geoambientais planas ou sem orientação

preferencial foram classificadas com valor 1. No quadro 9 pode-se observar os intervalos utilizados na classificação da orientação das vertentes.

Mapa de densidade de nascentes

O mapa de densidade de pontos de nascentes (figura 21) foi elaborado a partir da plotagem dos pontos nas nascentes da drenagem adensada. A drenagem utilizada foi obtida no site do IBGE das folhas topográficas em escala 1:50.000 e complementada no Arcmap 9.3. A interpolação dos pontos de afloramentos foi executada na extensão 3D Analyst do ArcMap 9.3, no estimador Kernel com raio de busca de 1000 m e célula de saída de 100 m.

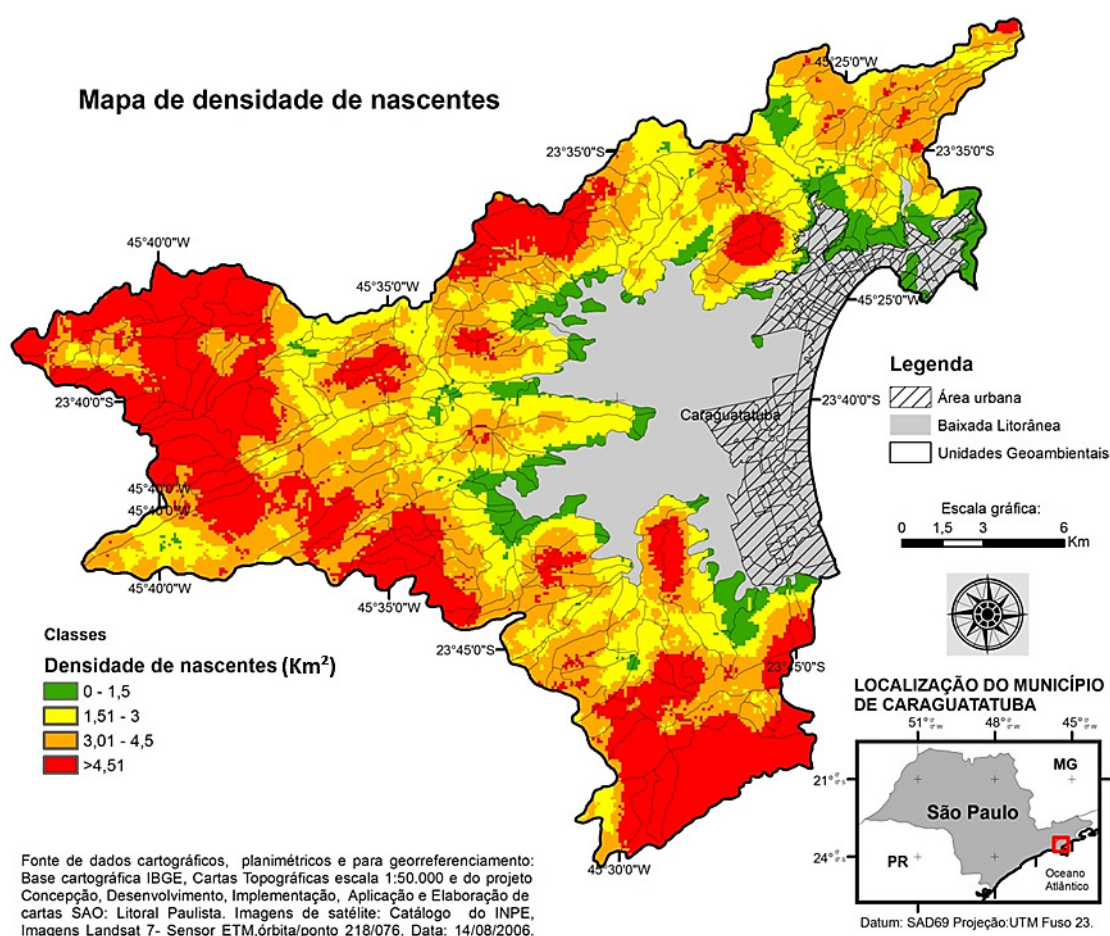


Figura 21. Representação do Mapa de densidade de pontos de nascentes.

As áreas de afloramento de nascentes são as primeiramente atingidas durante eventos climáticos extremos, pois a partir delas iniciam-se os processos de corridas de solifluxão. Essas corridas ao encontrarem outros materiais em desequilíbrio eminente, carregam estes e, com a potência do deflúvio superficial, precipitam-se em avalanches de detritos.

“O recuo das cabeceiras não é apenas um trabalho fluvial, pelo contrário, a evolução das vertentes nestas altas escarpas e beiradas de planalto esta, sobretudo presa aos afloramentos de lençol aquífero e ao aparecimento de nascentes. Estas efetuam um trabalho de sapa, ajudando a alteração das rochas nas linhas de fraqueza, propiciando uma dinâmica de das partículas e blocos. Ainda mais a escarpa da Serra de Caraguatatuba que é talhada em gnaisses facoidais, muito vulneráveis a alteração bioquímica (CRUZ, 1974, p.63)”.

No entanto, o poder erosivo dos cursos d'água nas cabeceiras depende muito da declividade ou inclinação destas vertentes. As vertentes em áreas com grande densidade de afloramentos, mas, com declividades moderadas nas áreas de planalto não sofrem os mesmos processos que as áreas de escarpas com elevadas declividades.

Nas figuras 22 e 23 são observáveis cicatrizes relacionadas a áreas de afloramento de lençol freático na Bacia 5 da área de estudo.



Figura 22. Localização de afloramentos de nascentes identificados na Escarpas da Serra do Mar. Foto:CAM.

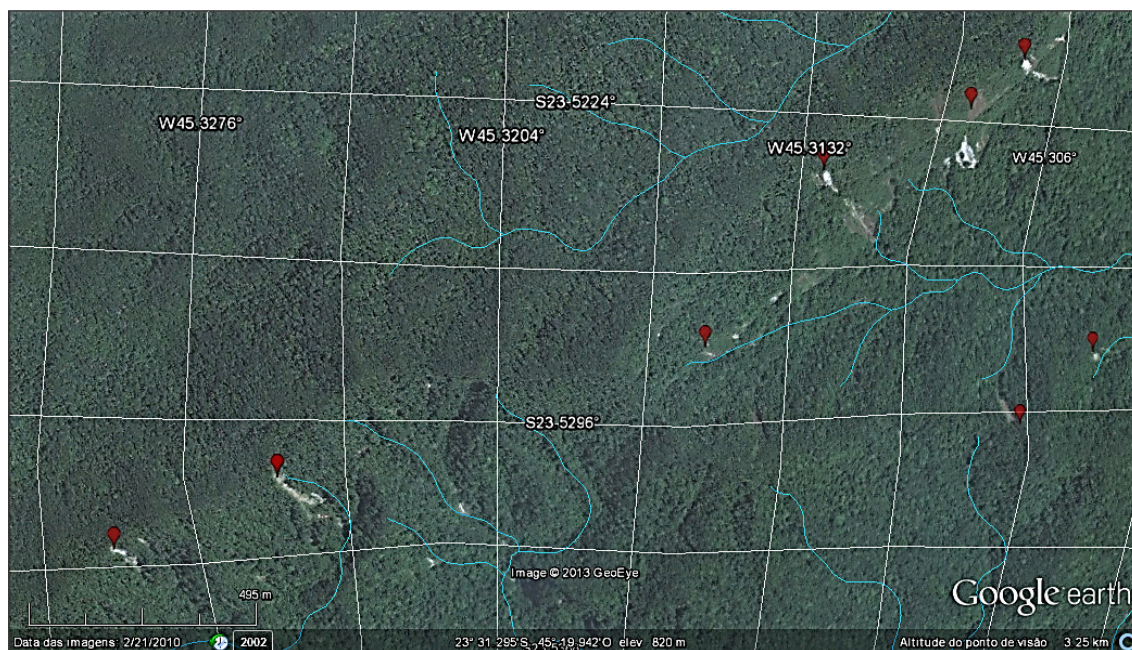


Figura 23. Imagem do Google earth de afloramentos de nascentes identificadas na Escarpas presentes na bacia hidrográfica 5.

A classificação da densidade de pontos de afloramentos de lençol freático das unidades geoambientais foi feita considerando a classe predominante em cada unidade (figura 21).

5.4.2 Interpretação de imagens

Dentre os diversos fatores que controlam as propriedades de textura e estrutura das formas na imagem, apenas fatores litológicos serão considerados na classificação das unidades geoambientais nesta tese, estes fatores dependem das propriedades físico-química dos maciços rochosos e são os seguintes: alterabilidade, permeabilidade e tropia.

Para a classificação dos fatores alterabilidade, permeabilidade e tropia das unidades geoambientais por fotointerpretação, utilizou-se a imagens de satélite Landsat 7, banda pancromática, com resolução de 15 metros.

Tropia

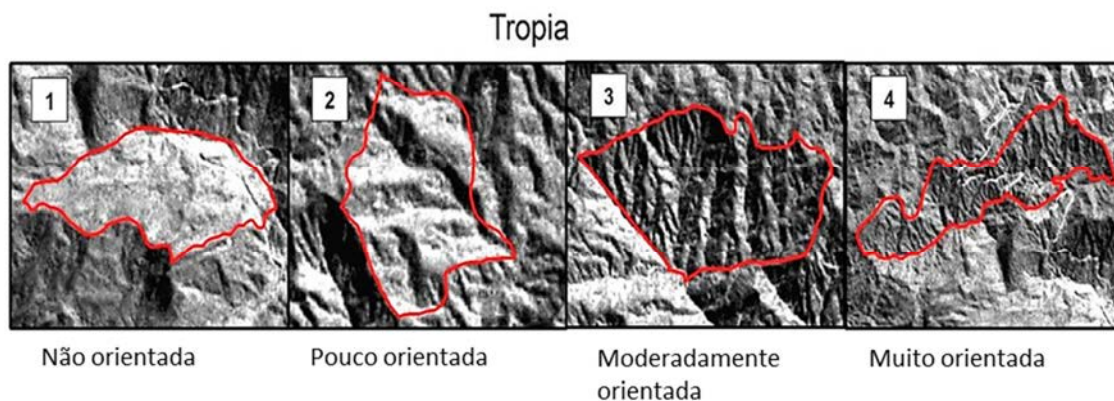
A tropia é a característica de orientação ou não das formas de relevo e drenagem. As rochas ígneas são isotrópicas por natureza, assim sendo não apresentam orientação das formas de relevo e drenagem, enquanto que as rochas metamórficas são anisotrópicas, devido a sua foliação/gnaissificação/xistosidade apresentando relevo e drenagem alinhados

(Veneziani, 1991). As propriedades que definem a anisotropia são os alinhamentos de relevo, lineações de relevo e lineações de drenagem.

Na interpretação das imagens podemos definir zonas homólogas ou fotolitológicas com diferentes graus de orientação das formas, refletindo diferentes tipos de propriedades anisotrópicas ou graus de anisotropia na fase exposta das rochas. Assim sendo, as rochas que exprimem de modo mais evidente suas propriedades anisotrópicas são aquelas fortemente dobradas. Considerando os seguintes graus de orientação:

- a) Muito orientada: é caracterizada pela presença de alinhamentos de relevo, lineações de relevo e de drenagem. Os alinhamentos de relevo representam corpos litológicos tabulares espessos;
- b) Moderadamente orientada: é caracterizada pela presença de lineações de relevo e de drenagem. As lineações de relevo, em arco ou retilíneas, são interpretadas como traços de acamamento, e constituem a expressão da exposição de pequenas camadas mais resistentes ao intemperismo ou a intersecção das camadas com a superfície. As formas de relevo são alongadas na mesma direção;
- c) Pouco orientada: apresentam apenas lineações de drenagem correspondentes a traços de foliação. As lineações de drenagem são interpretadas como traços de foliação quando em forma de arco ou retilíneas mantêm regularidade na orientação: quando não acompanhadas de traços de acamamento refletem a direção de propriedades anisótropas do tipo xistosidade, bandeamento e gnaissificação em rochas pouco heterogêneas. As formas de relevo apresentam pequeno alongamento na mesma direção das lineações;
- d) Não orientada: não apresentam nenhuma das três propriedades. As formas de relevo tendem a ser isométricas.

Na figura 24 podemos observar as chaves de interpretação utilizadas na classificação da tropia das unidades geoambientais.



Fonte: Imagens do catálogo do INPE, satélite Landsat, órbita/ponto 218/076 de 14/08/2006.

Figura 24. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para Tropia.

Alterabilidade

A alterabilidade refere-se à disposição dos materiais componentes das unidades geoambientais (rochas e solos) ao intemperismo. Em áreas com alta alterabilidade ocorre geralmente a formação de espessos mantos de alteração intempérica, já em áreas com baixa alterabilidade predomina uma alta resistência à erosão (VENEZIANI, 1991).

Para a classificação da alterabilidade observa-se a forma das encostas. Em encostas convexas a alterabilidade é muito alta, enquanto em encosta côncavas a alterabilidade é baixa. As encostas também podem ser em côncavo-convexas, classificadas como de alta alterabilidade e côncavo-retilínea-convexas, classificadas como de moderada alterabilidade. Desta forma, de acordo com Soares e Fiori, (1978) podemos caracterizar as zonas fotolitológicas pelas diferentes resistências ao intemperismo-erosão, relativas umas às outras, em função das formas de encostas dominantes:

- a) Muito alta alterabilidade - velocidade de intemperismo maior que a de remoção. Neste caso dominam solos espessos, encostas rebaixadas devido ao volume elevado de material disponível para remoção. A maior parte das encostas é convexa e evolui por rastejamento de solo e erosão por escoamento difuso;
- b) Alta alterabilidade - velocidade de intemperismo aproximadamente igual à velocidade de remoção; a parte mais elevada da encosta é convexa e evolui por rastejamento de solo e erosão por escoamento difuso e a

parte inferior sofre erosão por escoamento concentrado, apresentando forma côncava:

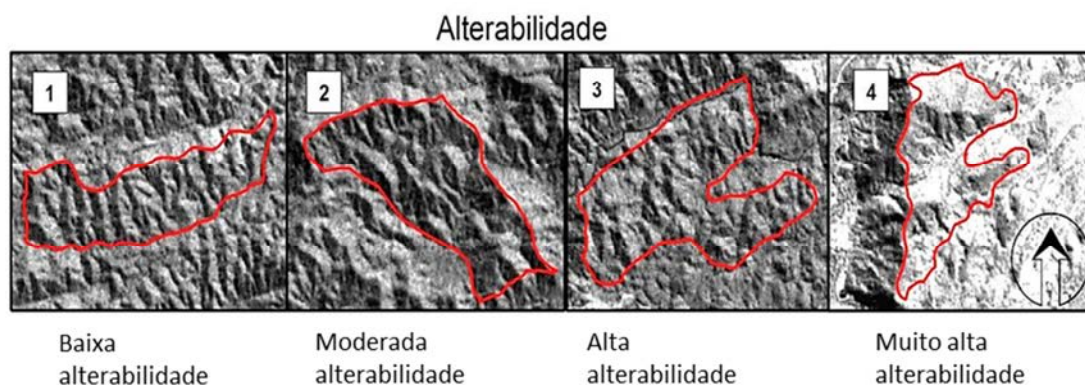
- c) Moderada alterabilidade - velocidade de intemperismo menor que a velocidade de remoção. Em todo o perfil da encosta, a capacidade de erosão e remoção é maior que o volume de material intemperizado, havendo erosão por escoamento concentrado e dando forma côncava à encosta;
- d) Baixa alterabilidade - velocidade de intemperismo muito menor que a capacidade de erosão. O perfil côncavo da encosta alonga-se devido à velocidade lenta de erosão do material rochoso nas partes mais elevadas, passando a evoluir por queda de blocos e avalanches; desenvolve-se uma seção retilínea do perfil; o topo da encosta, não chegando a ser atingido pela erosão concentrada, desenvolve perfil convexo.

Conforme Soares e Fiori, (1978) esta dinâmica de formação de encosta permite a interpretação das diferentes resistências oferecidas pelas rochas ao intemperismo. Isto porque, em uma área em que o nível base é o mesmo, a energia potencial de erosão também é a mesma (ou menor onde a topografia é mais baixa), de maneira que as diferenças de forma de encosta mostram uma boa correlação com a resistência diferencial ao intemperismo. Por outro lado, nas condições climáticas tropicais, onde o intemperismo químico é dominante, as diferentes formas de encostas representarão diferentes composições químicas das rochas.

A resistência à erosão pode ser uma propriedade anisotrópica dos materiais: neste caso podem-se desenvolver formas salientes ou rebaixadas fortemente estruturadas. As quebras positivas são interpretadas como o resultado da maior resistência do material à erosão, em um plano estrutural ou superfície regular do material. E inversamente interpretam-se as quebras negativas. As quebras negativas podem constituir excelentes limites entre zonas fotolitológicas.

As rochas relativamente mais resistentes ao intemperismo tendem a apresentar maior densidade de textura, por manterem maior irregularidade na

superfície (escarpas, morrarias). Onde a cobertura superficial ou os solos são mais espessos a densidade de textura de relevo é menor (planícies e planaltos). Detalhe das chaves de classificação para alterabilidade na figura 25.



Fonte: Imagens do catálogo do INPE, satélite Landsat, órbita/ponto 218/076 de 14/08/2006.

Figura 25. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para alterabilidade.

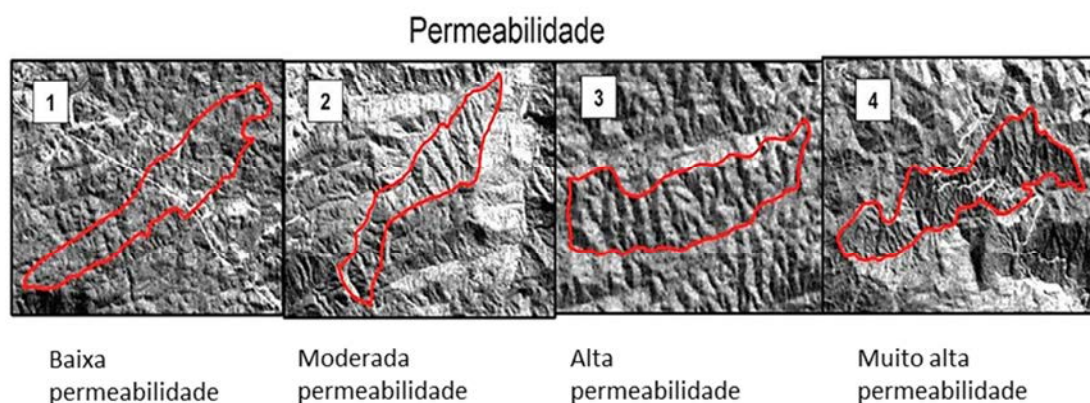
Permeabilidade

A Permeabilidade é uma propriedade dos materiais, é caracterizada pela maior ou menor facilidade com que um fluido percola um meio poroso. A permeabilidade pode ser o resultado da comunicação entre os espaços intergranulares das rochas ou materiais inconsolidados ou, ainda, entre os espaços produzidos por fraturamento. Em rochas clásticas e materiais inconsolidados, varia com o tamanho dos grãos e com sua seleção: em organoquímicas depende da solubilidade e impurezas e em rochas ígneas varia com a intensidade de faturamento (SOARES e FIORI, 1974).

A propriedade Permeabilidade, ou qualidade de permeável, relaciona-se à capacidade de infiltração das águas precipitadas no terreno. A Permeabilidade deve-se principalmente à porosidade primária (intergranular) em materiais sedimentares e à porosidade secundária (fraturas), em materiais cristalinos (metamórficos ou ígneos).

Conforme afirma Soares & Fiori, (1974), para uma área com o mesmo índice pluviométrico, a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de drenagem, uma vez que densidades maiores de drenagem significam menor potencial de infiltração e vice-versa. Já em maciços rochosos cobertos por espessos mantos de material inconsolidado a densidade de

drenagem refletirá mais a espessura e permeabilidade desses materiais. Na figura 26 pode-se observar as chaves de classificação para permeabilidade.



Fonte: Imagens do catálogo do INPE, satélite Landsat, órbita/ponto 218/076 de 14/08/2006.
 Figura 26. Chaves de interpretação para classificação das unidades geoambientais para permeabilidade.

5.5 Análise Morfoestrutural (Deformações Dúcteis)

Após a compartimentação e classificação das unidades, iniciamos a caracterização dos movimentos gravitacionais de massa em escala regional, através da definição de feições estruturais anômalas na área de estudo.

A análise morfoestrutural foi realizada mediante fotointerpretação das imagens do satélite Landsat 7, com os princípios desenvolvidos para a geologia do petróleo em bacias sedimentares e descritos por Guy (1966), Rivereau (1969) e Soares et al. (1982).

Os primeiros a aplicar a análise morfoestrutural em estudos ambientais e de planejamento foram Jiménez-Rueda & Mattos (1992) e Jiménez-Rueda et al. (1989a, 1989b, 1993).

A análise morfoestrutural é fundamental para estabelecer a dinâmica da paisagem e compreender suas potencialidades, para que se possam planejar as diversas formas de uso e ocupação em concordância com seu potencial ambiental (JIMENEZ-RUEDA et al., 1993).

A análise morfoestrutural é baseada na interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas surgem como anomalias no contexto regional. Esta análise baseia-se no princípio de

que muitas estruturas podem ser refletidas em superfície e identificadas com produtos de sensoriamento remoto.

As morfoestruturas são linhas de contorno estrutural não cotadas que representam a disposição das camadas estruturais em sub-superfície, seguindo a tendência regional das assimetrias de drenagem (JIMENEZ-RUEDA et al., 1993).

A partir da análise da rede de drenagem são estabelecidos padrões de assimetrias e/ou simetrias, além de anomalias radiais, anelares e feições lineares, que permitem identificar as feições estruturais existentes - os altos estruturais (positivas) e os baixos estruturais (negativas) -, representadas por curvas não cotadas, e as descontinuidades estruturais (lineamento e falhas), que podem estar em posição altimétrica alta ou baixa. O resultado dessa análise integrada é a caracterização morfoestrutural. Quando relacionados os altos e baixos estruturais com os altos e baixos topográficos estes indicam aspectos hidrológicos, como o nível do lençol freático e aquífero, e contribuem na determinação da circulação de água e potencial erosivo da área (JIMÉNEZ-RUEDA, et al., 1993). Podemos observar na figura 27 um modelo da circulação de água nessas feições estruturais anômalas.

A correta interpretação dos elementos, feições, arranjos e padrões estruturais e tectônicos auxilia na caracterização da ruptibilidade, permeabilidade do solo/rocha, percolação de fluidos e conseqüentemente na identificação de áreas com diferentes níveis de instabilidade/estabilidade frente a processos de alteração, erodibilidade e susceptibilidade ambiental (MATTOS et al., 2002).

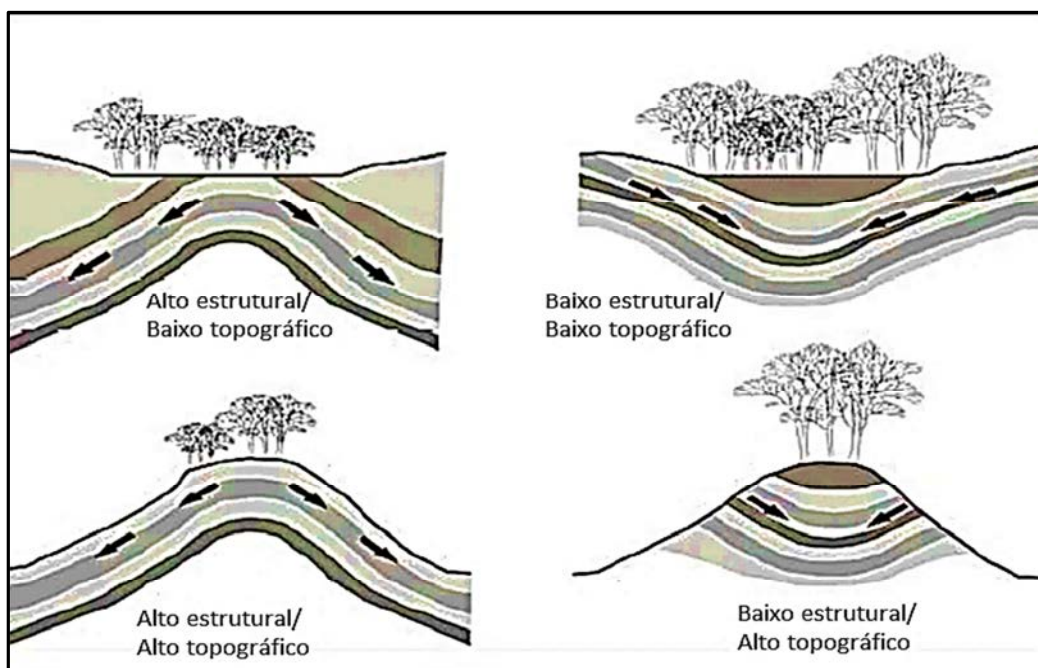


Figura 27-Esquema em corte transversal das possíveis associações entre morfoestrutura e topografia. Fonte: Caetano, 2006.

A partir da interpretação das propriedades das formas da rede de drenagem foi possível determinar a estrutura geológica com a localização dos baixos e altos estruturais. Após isso estas feições foram relacionados à sua posição topográfica, ou seja, os altos e baixos estruturais nem sempre estão em conformidade com a topografia. A figura 27 mostra através de cortes transversais as possíveis associações entre morfoestrutura e topografia e também o comportamento dos fluxos d'água nesses locais.

Segundo Jiménez-Rueda et al. (1993) a relação entre morfoestrutura e morfometria em clima tropical e subtropical resulta em características ambientais específicas quando associadas. No quadro 10 pode-se notar uma análise da aplicação da relação existente entre morfoestrutura e morfometria quanto aos processos e formas predominantes em cada uma das associações.

	AA	AB	BB	BA
Intemperismo	Muito Forte	Forte	Baixo	Médio a Fraco
Circulação de água	Intensa	Média a alta	Alta e Direcionada	Média a alta
Fertilidade (Potencial Atual)	Muito baixa	Baixa a média	Muito alta	Média a alta
Processos	Pedogênese> Morfogênese	Morfogênese> Pedogênese	Morfogênese> Pedogênese	Pedogênese> Morfogênese
Unidades Fisiográficas	Planaltos e Taludes	Planaltos e Taludes	Planícies de inundação atuais e subatuais (canais, nascentes, várzeas, diques, terraços) e Taludes	Planaltos baixos, taludes, paleocanais, paleonascimentos e paleoterraços
Suscetibilidade à erosão	Baixa a quase nula	Moderada a forte (exorréica)	Muito forte (endorréica)	Muito forte a moderada (exorréica)
Solos	Argissolos e Cambissolos	Argissolos, Cambissolos e Neossolos	Gleissolos, Neossolos e Organossolos	Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Gleissolos
Cobertura de alteração intempérica	Latossolização, Ferruginização e Laterização	Latossolização, Ferruginização e Laterização, Argilização e Melanização	Melanização, Gleização e Cambissolização	Argilização, Melanização, Latossolização e Cambissolização
Unidades de alteração intempérica	Alíticas, monossialíticas, Moni/alítica/bisialítica	Alíticas, Monossialíticas, Moni/bisialíticas	Bisialítica, Monossialíticas	Moni/bisialíticas Bi/monossialítica Moni/alítica/bisialítica
Minerais de argila	Caulinita, Gipsita	Caulinita, Gipsita e Esmectita	Esmectita, Caulinita	Caulinita e Esmectita

Quadro 10. Aplicação da relação entre morfoestrutura e morfometria para caracterização ambiental. Fonte: Jiménez-Rueda et al., (1993) modificado por Shimbo, (2006).

A determinação dos altos e baixos estruturais bem como de suas associações topográficas também permite determinar áreas com maior ou menor capacidade de suporte a instalação de obras de engenharia e sanitárias, classificar a aptidão agrícola entre outras atividades (quadro 11).

	Aplicações			
	Agricultura			
	AA	AB	BB	BA
Potencialidades gerais	Rotação de culturas anuais e semiperenes	Culturas semiperenes e anuais	Reflorestamento, horticultura, áreas de proteção ambiental	Culturas semiperenes e reflorestamento
Mecanização	Intensa	Moderada a restrita	Restrita	Moderada a restrita
Uso de adubos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Moderado a restrito
Obras Cívicas				
Estradas	Adequado	Adequado a moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Edificações	Adequado	Moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Sanitárias				
Aterros sanitários	Restrito	Restrito a inadequado	Muito restrito a restrito	Adequado
Efluentes líquidos e sólidos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Adequado

Quadro 11. Aplicação da relação entre morfoestrutura e morfometria para análise de múltiplos usos e suporte ambiental. Fonte: Jiménez-Rueda et al., (1993) modificado por Shimbo, (2006).

A execução do Mapa Morfoestrutural começou pela obtenção e detalhamento da drenagem, com a complementação dos canais de zero ordem localizados nas reentrâncias das curvas de nível obtidas nas cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000, vetorizada em formato shape. Os canais fluviais de zero ordem são intermitentes e participam da dinâmica pluvial das vertentes, estes representam traços de juntas e são relevantes na interpretação da rede de drenagem para execução da morfoestrutura.

Após o adensamento da drenagem este mapa (figura 28) foi plotado juntamente com os limites da área de estudo na escala 1:100.000 em papel comum. Isto permitiu uma visão total da área de estudo, a qual não era possível obter na tela do computador. Os mapas de orientação de mergulho de camadas e linhas de forma não cotadas foram elaborados em papel tekron e após concluídos escaneados, inseridos no programa ArcMap 9.3, georreferenciados sobre a base existente e vetorizados.

O produto final desta análise pode ser consultado no apêndice 1.

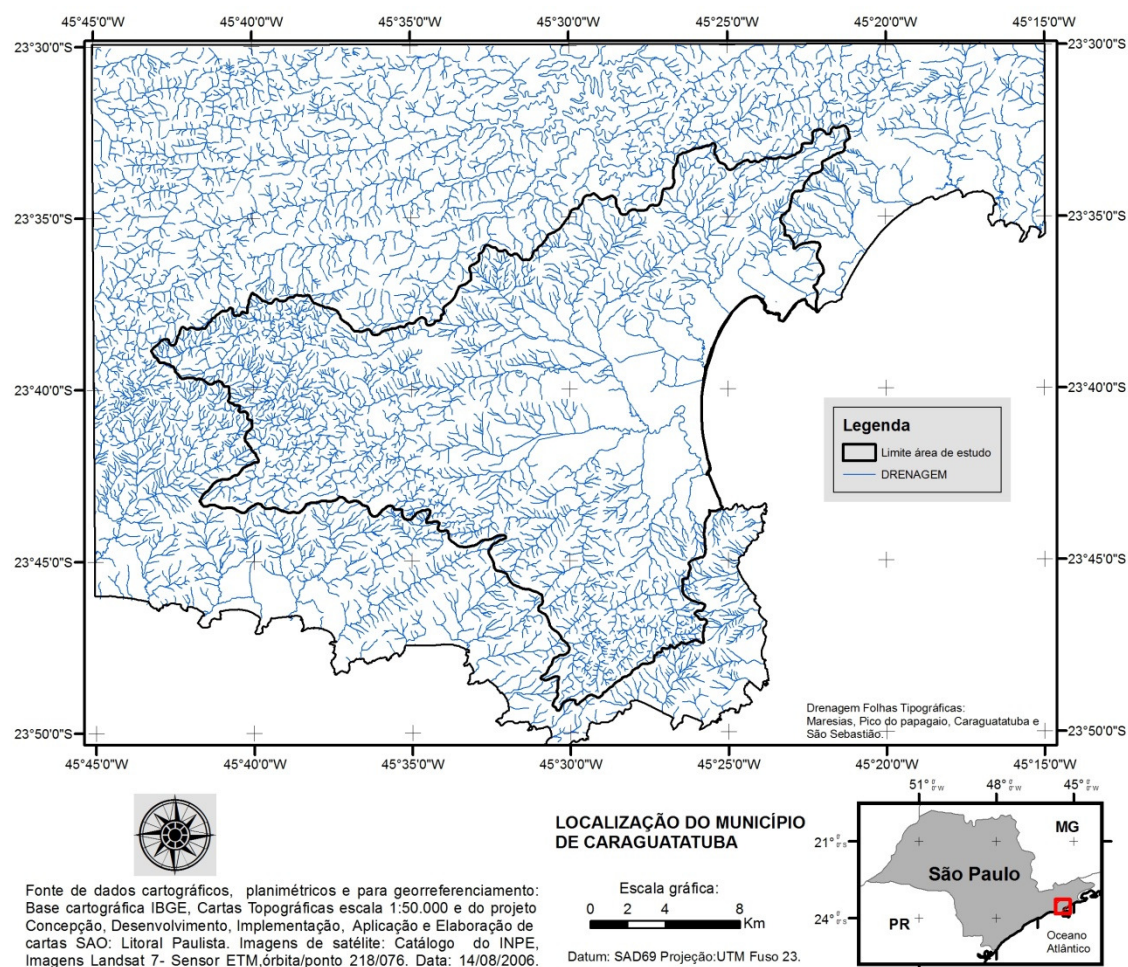


Figura 28. Drenagem adensada da área de estudo para análise morfoestrutural.

5.6 Análise Morfotectônica (Deformações Rúpteis)

A morfotectônica segundo Suguio (1999) estuda as relações entre unidades fisiográficas e as estruturas tectônicas (falhas, juntas, fraturas) de uma região, relacionando a interação das deformações da crosta terrestre com os processos erosivos e sedimentares.

As rochas em geral não são isotrópicas, ou seja, suas propriedades não se mantêm uniformes em todas as direções, sejam heterogeneidades composicionais ou estruturais. A análise do faturamento permite a definição do estado de fragmentação do maciço rochoso. Nas áreas de maior fragmentação ocorre a ação rápida da erosão propiciando acelerada denudação e, portanto é possível a definição das áreas mais suscetíveis a processos de instabilização.

A análise morfotectônica parte do princípio de que as feições estruturais condicionam a drenagem e o relevo possibilitando a identificação de

lineamentos estruturais (falhas) e traços de juntas (juntas ou fraturas). Tais feições demonstram áreas de diferentes graus de tectonismo, tensões de cisalhamento e ruptibilidade, sendo um bom método para analisar a suscetibilidade das coberturas de alteração intempérica aos processos erosivos e movimentos gravitacionais. As feições tectônicas a serem analisadas são os alinhamentos (lineamentos estruturais) e lineações (traços de máximos de juntas) de drenagem.

Na análise do fraturamento, efetuou-se o estudo das estruturas que condicionam a drenagem e o relevo, sendo essas as feições lineares de drenagem (traços de juntas), alinhamentos de drenagem (lineamentos estruturais) e suas relações espaciais, permitindo estabelecer e classificar zonas com diferentes graus de tectonismo, cisalhamento e ruptibilidade.

A extração das feições foi realizada segundo proposta de Veneziani e Anjos (1982), na qual definem as lineações de drenagem como segmentos retilíneos de elementos texturais e a disposição destes em linha reta definem os alinhamentos. Os traços de junta foram obtidos na carta básica de drenagem e extraídos a partir do reconhecimento de lineações de drenagem de 1ª e 2ª ordem, que constituem feições fortemente estruturadas unidirecionalmente, que indicam a principal direção da rede de drenagem (RODRIGUES, 2000).

Os lineamentos estruturais foram obtidos a partir da drenagem de ordens maiores, devidamente alinhadas, esses evidenciam as áreas de alívio tectônico rúptil provocado, na maioria das vezes, por processo cataclástico, indicando maior ou menor ocorrência de cisalhamentos (RODRIGUES, 2000).

Os lineamentos estruturais são feições que representam descontinuidades penetrativas na crosta terrestre e que podem ser interpretados como falhamentos quando possuem movimentos relativos aparentes (falhas normais, inversas, reversas, transcorrentes e/ou direcionais) ou como discordâncias formacionais e/ou deformacionais. Na natureza, essas estruturas manifestam-se na superfície como traços contínuos ou descontínuos, retilíneos ou curvilíneos e, também, sinuosos, dependendo do

tipo de estrutura que eles representam. Uma característica desses traços é sua forte estruturação (FRANZONI, 2000).

Segundo Loczy e Ladeira (1976) a tectônica investiga a morfologia e a associação das estruturas de tipos similares, classificando-as ou agrupando-as em zonas e regiões, procurando obter uma visão integrada das estruturas maiores e suas relações espaciais entre si.

A análise morfotectônica permite delimitar as áreas intensamente fraturadas, portanto, suscetíveis à processos erosivos (CRISÓSTOMO-NETO, 2003; MATTOS et. al, 2002; RODRIGUES, 2000). Deste modo, estes mapas também colaboram com informações para a elaboração dos mapas temáticos e servem como indicadores nas ações de escolha de manejos mais adequados ou delimitação de áreas de proteção ambiental.

5.6.1. Lineamentos Estruturais

Segundo Loczy e Ladeira (1976) os lineamentos são feições lineares da superfície terrestre, mapeáveis e que podem ser simples ou compostos; tendo suas partes alinhadas de forma retilínea ou suavemente encurvada. Segundos os autores op cit. os lineamentos, presumivelmente refletem fenômenos da sub-superfície e diferem claramente dos padrões das feições que estão nas suas adjacências.

De acordo com O'Leary et al. (1976) os lineamento são definidos como uma feição mapeável simples ou composta da superfície, alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvilíneo, que difere distintamente dos padrões das feições adjacentes e presumidamente reflete um fenômeno de subsuperfície, o que permite apresentar expressões geomórficas (geralmente feições topográficas negativas). A interpretação destes lineamentos e suas direções contribuem para compreender a influência dos processos endógenos, principalmente da ação tectônica, na formação e dinâmica da paisagem.

Segundo Mattos et al. (2002), os lineamentos podem ser obtidos por imagens de satélite, como feições naturais com maior contraste e frequência. Constituem descontinuidades geológicas penetrativas de grandes extensões e quase sempre com movimento direcional aparente, tendo, dessa maneira,

conotação estrutural representativo de famílias de feições naturais da superfície terrestre como formas que refletem superfícies de descontinuidade profunda da crosta terrestre (falhas).

O mapa de lineamentos estruturais (FIGURA 33) foi obtido a partir da rede de drenagem do município de Caraguatuaúba e da imagem do satélite Landsat 7, neste mapa foram traçadas as principais feições constituídas pela disposição retilínea dos elementos de drenagem, e, portanto os principais lineamentos de drenagem. Tais feições foram extraídas no programa ArcMap 9.3 sobre com escala fixada na tela em 1:50.000 (escala que facilita o reconhecimento dos padrões).

A partir do mapa de lineamentos estruturais foram elaborados os mapas de densidade de lineamentos estruturais e densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais (Figuras 36 e 38).

5.6.2 Traços de Juntas

Loczy e Ladeira (1976) definem juntas ou diaclases como planos ou superfícies de fraturas, que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos de fratura, ou se o deslocamento ocorreu foi mínimo e não visível. Os traços de juntas apresentam-se como descontinuidades que ocorrem segundo uma orientação preferencial (MAGALHÃES & CELLA, 1998), são planos ou superfícies de fratura que dividem as rochas, sendo que não houve deslocamento das paredes rochosas paralelamente a esse plano, ou, havendo deslocamento, este foi mínimo e não visível (LOCZY & LADEIRA, 1976).

Segundo Shimbo (2006), os traços de juntas são considerados registros das deformações mais modernas da paisagem e, conseqüentemente, podem ser utilizados para compreensão da dinâmica da paisagem e suscetibilidade à erosão. Com o mapa de traços de juntas informa-se o grau de fraturamento que o solo/paisagem/rocha possui e onde este grau de fraturamento apresenta-se com maior intensidade de rompimento, conseqüentemente maior percolabilidade, maior alterabilidade/meteorização ou maior potencial de erodibilidade. Tais informações são extraídas a partir de segmentos de

drenagem fortemente estruturados e retilíneos de 1ª e 2ª ordens, que apresentam repetitividade e de tamanhos uniformes (MATTOS et al. 2002).

Conforme Mattos et. al. 2002, a análise das lineações caracteriza zonas de variações de máximo de traços de juntas, que apontam regiões com grande variação de tensão, sendo áreas rúpteis e com alta suscetibilidade à erosão.

Neste trabalho os traços de juntas foram extraídos dos segmentos de drenagem entre 150 a 450 metros de comprimento, retilíneos e unidirecionais de primeira e segunda ordem. Para alcançar este objetivo foi usada a ferramenta de seleção por atributos do ArcMap 9.3. A partir do Mapa de Traços foram elaborados o Mapa de Densidade Traços de Juntas (figura 36) e Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e Críticas. As Zonas de variação críticas são aquelas em que ocorre uma sobreposição das Zonas de variação 1 e 2. O produto final desta análise pode ser consultado no apêndice 2.

5.6.3. Mapas de Densidade de Lineamentos Estruturais, Traços de Juntas e cruzamentos de Lineamentos Estruturais

Os seguintes planos de informações: traços de juntas, lineamentos estruturais e de seus cruzamentos foram submetidos a uma análise de densidade (figuras 34, 35 e 36) por meio da ferramenta Kernel Density (Spatial Analyst – do programa ArcMap. A ferramenta Kernel Density calcula a densidade de feições de linha ou ponto por unidade de área. Para calcular a densidade das feições morfotectônicas usou-se um raio de busca de 1000 m, de forma que resolução do mapa resultante foi de 5 m e os valores de densidade foram expressos em km².

De acordo com Mattos et al., (2002), o mapa de densidade de lineamentos estruturais permite a visão da distribuição espacial destas feições, possibilitando a identificação de tendência de acumulação e a sua ocorrência. Quanto maior a densidade de lineamentos, maior é o potencial de erosão e/ou suscetibilidade a intervenções naturais ou antrópicas por eventos particulares ou frequentes, determinando, assim, o seu grau de vulnerabilidade.

Não somente a presença de lineamentos, mas também a presença de cruzamentos dos lineamentos estruturais (Figura 37) caracterizam as áreas onde há maior variação de tensão e conseqüentemente mais fraturadas. Com a

maior permeabilidade, aumenta também a alterabilidade do solo e da rocha devido à maior percolação de fluidos, resultando em maior possibilidade de erosão de formas não estáveis (MATTOS et al., 2002).

5.6.4 Mapa de Zonas de Variação de Máximos(ZVM) 1 e 2 de Traços e juntas e Zonas Críticas(ZC)

Posteriormente a determinação dos Máximos 1 e 2 delimitou-se as zonas onde um ou outro ocorrem e onde estes se cruzam, essas zonas indicam diferentes graus de ruptibilidade do material crustal e, logo, seu nível de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa que podem instabilizar as unidades geoambientais, essas zonas foram chamadas de Zonas Críticas(ZC), observar Mapa de Zonas de variação de Máximos 1, 2 e Zonas Críticas no apêndice 2, mapa D.

Para a confecção deste mapa foram filtrados os Traços de Juntas obtidos, no programa Spring, com a função Análise de Lineamentos. Os traços de juntas foram filtrados segundo sua direção em intervalos de 10º, sendo, portanto 18 classes de direções. Cada direção de traços de juntas foi representada em uma cor diferente no ArcMap 9.3, para facilitar a determinação dos máximos 1 e 2 de traços de juntas. Foram elaboradas rosetas para as direções de traços para toda a área de estudo, e para cada uma das bacias hidrográficas (figura 38). Todas as etapas da sistematização da análise morfotectônica podem ser observadas em detalhe no apêndice 2 desta tese.

Após a extração dos traços de junta foram determinados os Máximos 1 e 2 de traços de juntas. Isto foi realizado analisando-se as frequências de ocorrência desses traços nas duas direções predominantes dentro de uma área de análise de 9 km² (3km x 3km), observe um exemplo da classificação dos máximos 1 e 2 de traços de junta para um quadrante na figura 29. As direções não predominantes foram desconsideradas e para as duas direções preferenciais foram criados os *layers* Máximos 1 e 2. Esse procedimento foi realizado para cada uma das 76 quadrículas. Observar os detalhes do processo de elaboração dos mapas de Zonas de Variação de Máximos elaborados, no apêndice 2, mapas A, B e C.

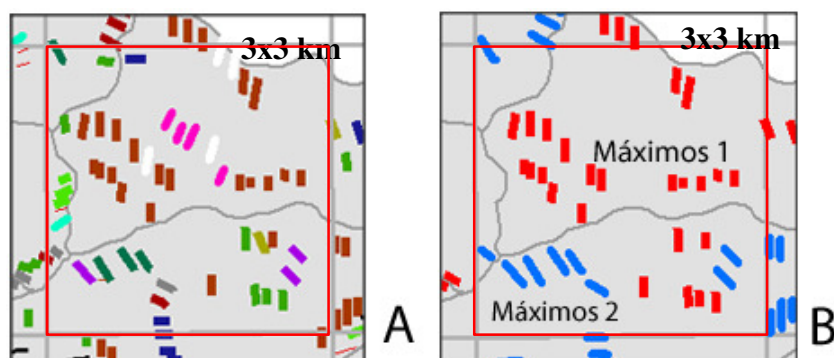


Figura 29. Determinação dos Máximos 1 e 2 de traços de juntas.

Após a elaboração do mapa de Máximos 1 e 2 determinou-se para cada um destes mapas em quais áreas os máximos 1 ou 2 apresentam uma mudança brusca de direção, estas áreas foram delimitadas para a constituição dos Mapas de Zona de Variação de Máximos (ZVM). Um esboço dessa análise pode ser observado na figura 30, na área apresentada está localizada a Zona de variação de Máximos 1, número 4. Nesta ZVM1 os traços a leste possuem uma orientação N40-50W e sofrem uma mudança brusca de direção a oeste para N80W. Os limites utilizados para a determinação da ZVM não são rígido, somente representam de forma aproximada às áreas submetidas a variações no campo de tensão.

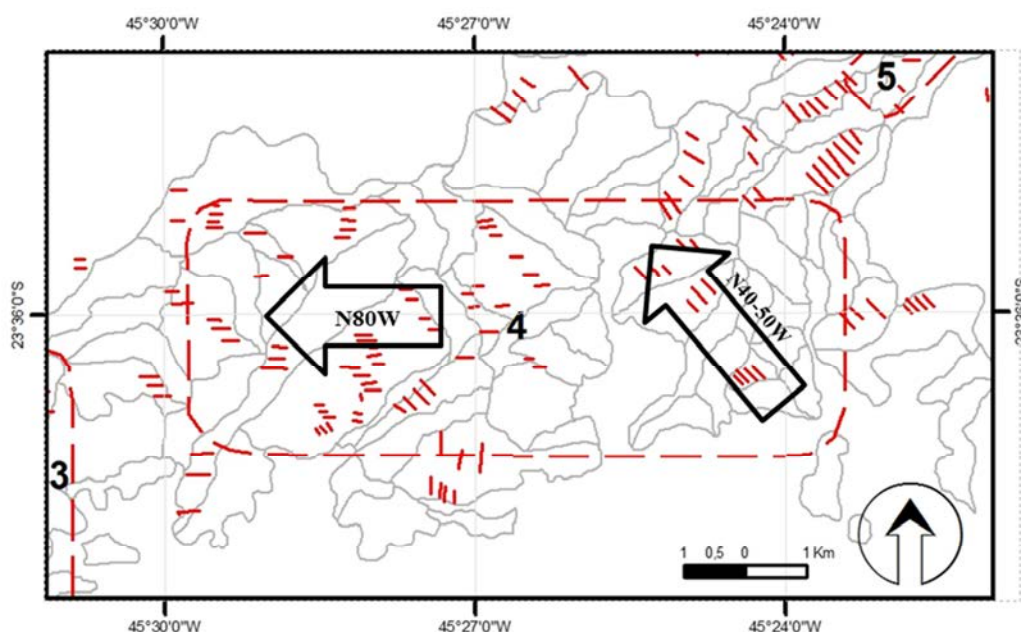


Figura 30. Variação das direções na ZVM 1, número 4.

Conforme Mattos et al (2002), a análise da variação dos traços de junta em máximos 1 e 2 tem como objetivo determinar o processo de deformação

regional e onde estes mudam bruscamente de direção, determinando as zonas onde existe uma variação no regime de campo de tensão da deformação, desta forma determinando áreas de maior fraturamento, ou seja, suscetibilidade a erosão, como também a movimentos gravitacionais. Essas áreas estão associadas a pontos de rápido afloramento do lençol freático. As zonas de fraturamento intenso são áreas de fraqueza aproveitadas pelo escoamento superficial que entalha com mais facilidade canais profundos.

O produto final da análise Morfotectônica consistiu no Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e críticas. As Zonas de variação obtidas nessa sistematização foram adicionadas ao Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa (Apêndice 3). Este mapa permite a determinação das zonas mais fraturadas, portanto, mais instáveis, principalmente se submetidas a intervenções antrópicas.

5.7 Mapa de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

Segundo Fernandes & Amaral (1996) o mapa de suscetibilidade ambiental é uma ferramenta indispensável para a amenização das consequências geradas por escorregamentos, pois permite decisões mais apropriadas, na gestão de obras de engenharia.

Para as geociências aplicadas o significado do termo suscetibilidade pode ser sintetizado como a predisposição, propensão ou tendência dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico.

De acordo com Julião (2009) a suscetibilidade representa a propensão de uma área em ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou sua a probabilidade de ocorrência. Ou seja, ao analisarmos uma área que apresenta características como alta declividade, por exemplo, podemos classificar essa área como propensa a movimentos gravitacionais de massa, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade.

A declividade constitui um dos fatores predisponentes ao desenvolvimento destes movimentos gravitacionais de massa e, por essa razão, é um dos parâmetros necessários à análise de suscetibilidade. Comprova-se, assim, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos, base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade (IPT, 2014).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os produtos cartográficos obtidos, a avaliação dos resultados da compartimentação da Unidades Geoambientais, Análise Morfoestrutural, Análise morfotectônica, classificação das Unidades Geoambientais e validação de dados.

6.1 Compartimentação das Zonas, Subzonas e Unidades Geoambientais

A divisão das zonas, subzonas e unidades geoambientais seguiu a seguinte sequência: no primeiro nível de compartimentação foram divididos os compartimentos do relevo (Morraria Costeira, Planalto do Juqueriquerê, Planalto do Lourenço Velho, Planalto do Moraes e Escarpas); no segundo nível de compartimentação foram considerados os compartimentos litológicos e por fim foram compartimentadas as unidades geoambientais por fotointerpretação de imagem do satélite Landsat 7, banda pancromática de resolução de 15 metros.

Para denominar as Unidades Geoambientais utilizou-se o seguinte critério:

1. Para as zonas foram utilizadas as siglas do Mapa Geomorfológico do Planalto do Juqueriquerê e áreas adjacentes de Campanha, Ens e Ponçano, (1994);
2. As subzonas foram numeradas com números romanos sequenciais;
3. As Unidades Geoambientais foram numeradas com números arábicos em ordem crescente. Detalhe no quadro 12.

Zonas- Compartimentos do Relevo	Subzonas- Compartimentos geológicos	Unidades Geoambientais
Morraria Costeira(C)	C	C1 a C17
Escarpas(S)	SI	SI1 a SI9
	SII	SII1 a SII11
	SIII	SIII1 a SIII82
	SIV	SIV1 a SIV23
Planalto do Lourenço Velho(L)	LI	LI1 A LI26
	LII	LII1 a LII14
Planalto do Juqueriquerê	JI	JI1 a JI10
	JII	JII1 a JII8
	JIII	JIII1 a JIII15
	JIV	JIV1 a JIV3
	JV	JV1 a JV4
Planalto do Moraes	M	M1 a M22
Total (5 Zonas)	13 subzonas	244 UG

Quadro 12. Detalhe da Compartimentação das Unidades Geoambientais.

O conjunto deste procedimento e o número de Zonas, Subzonas e Unidades Geoambientais obtidas pode ser observado no quadro 12 e figura 32. O uso destas imagens de resolução de 15 metros foi suficiente para o nível de detalhe pretendido nesta tese que foi a reprodução de fatos da 4ª ordem de mapeamento (que consistem na representação dos mecanismos ligados aos processos morfogenéticos atuantes e o também do controle estrutural). Segundo Boggione et al. (2008) imagens de 15 metros de resolução espacial permitem a interpretação e apresentação de resultados na escala máxima de 1:30.000. Nesta tese os produtos cartográficos finais foram apresentados na escala 1:75.000.

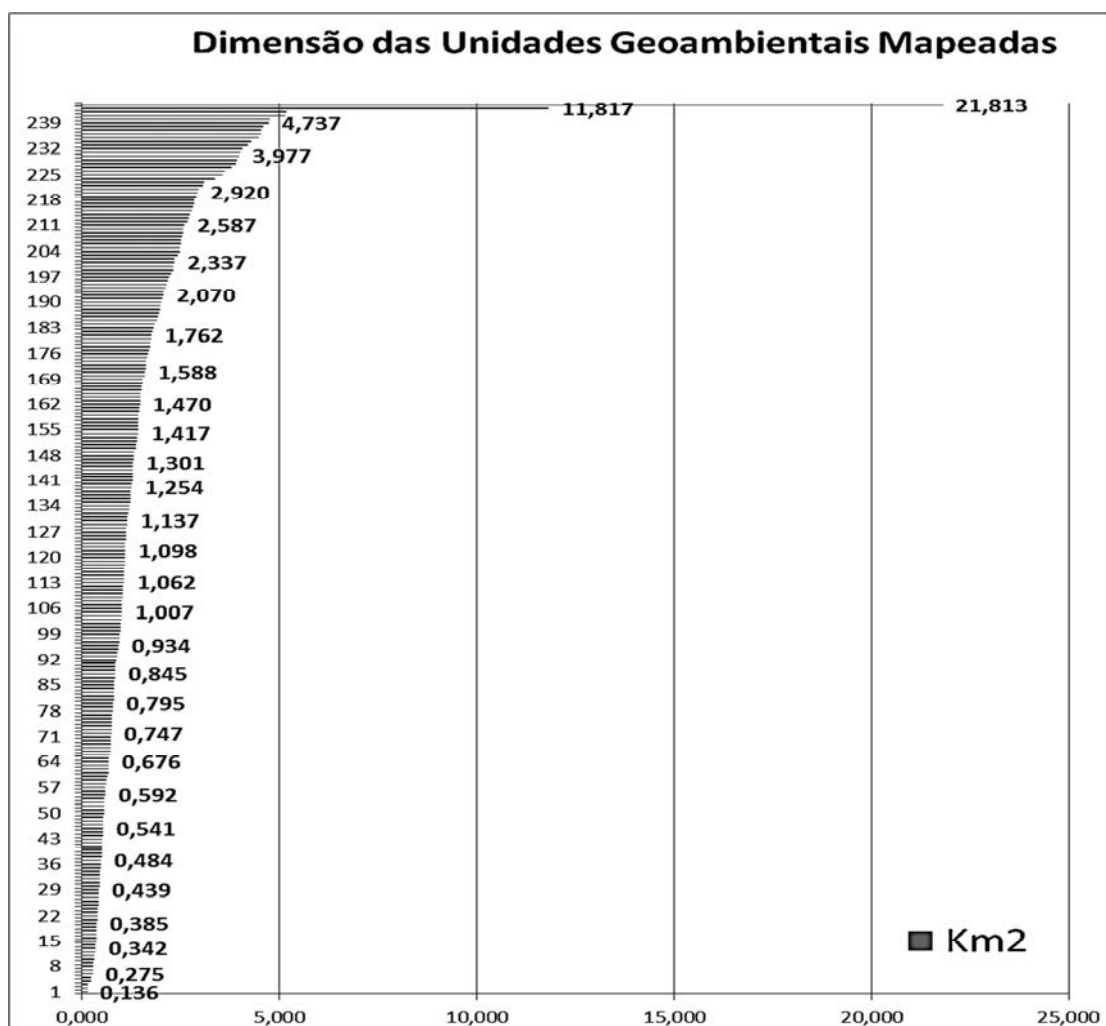


Figura 31. Distribuição das Unidades Geoambientais mapeadas de acordo com suas dimensões.

As dimensões das 244 unidades geoambientais mapeadas estenderam-se de 0,136 a 4,737 km², somente duas divergiram das demais com dimensões de aproximadamente 12 e 22 km². Essas Unidades estão localizadas em áreas de planaltos e apresentaram textura homogênea na fotointerpretação. Na figura 31 pode-se visualizar a distribuição destas unidades segundo suas dimensões em km².

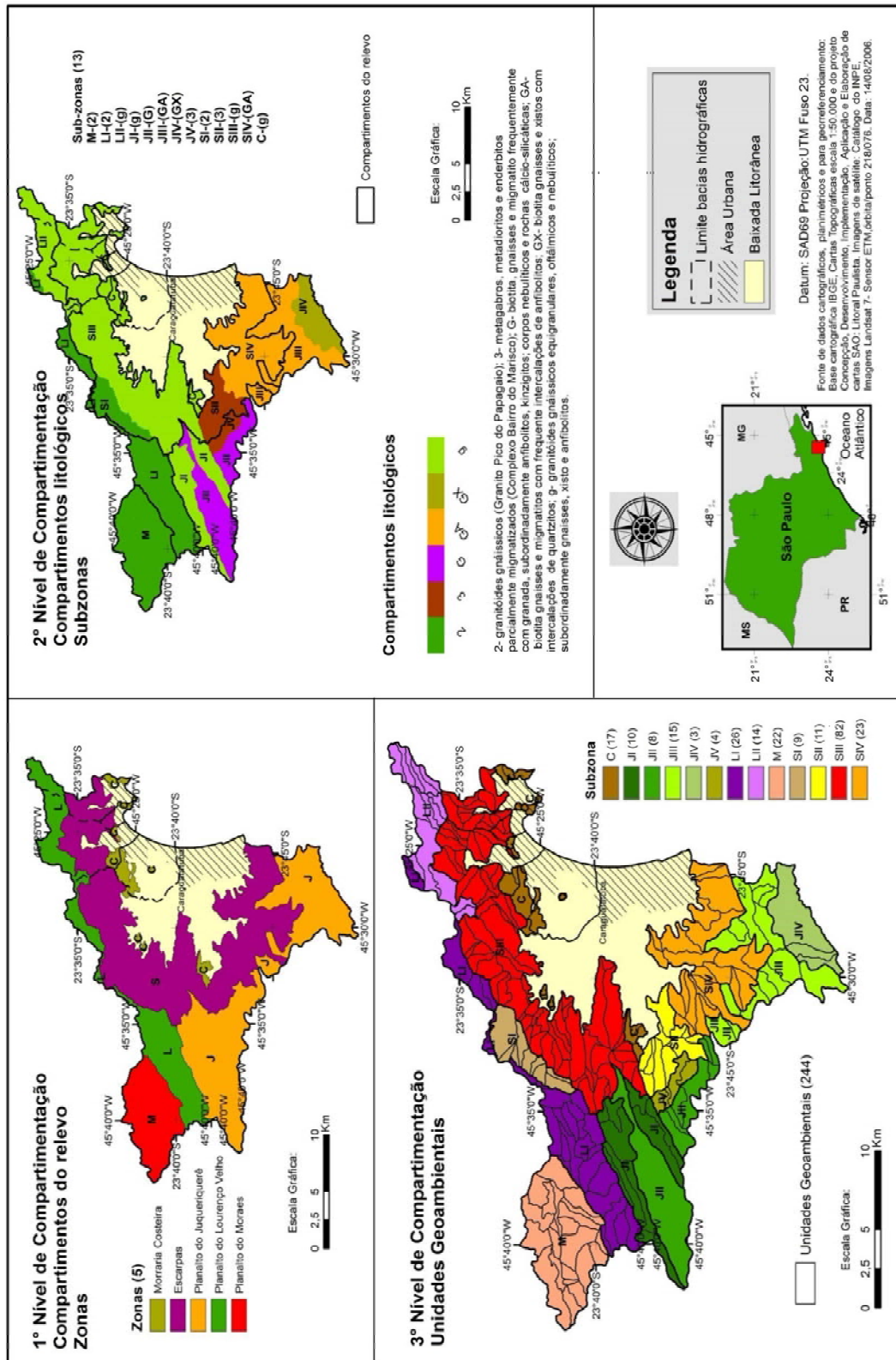


Figura 32. Detalhe da compartimentação das Unidades Geoambientais.

6.2 Análise Morfoestrutural

A análise morfoestrutural baseia-se na análise de informações básicas dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, classificando-as de acordo com o caráter, homólogo ou não. Na interpretação procura-se um significado geológico para as diferentes formas ou associações desses elementos, já que representam condicionamentos da litologia ou estrutura, por processos morfogênicos atuando sobre o substrato.

O produto dessa análise integrada é a caracterização morfoestrutural, ou seja, o estabelecimento de zonas estruturalmente anômalas, resultantes de esforços tensionais da crosta terrestre deformando as rochas que se manifestam na forma de dobramentos originando formas convexas positivas ou altas (estruturas dômicas ou antiformes) e côncavas negativas ou baixas (depressões estruturais, sinformes), ou ainda, descontinuidades estruturais (lineamentos e falhas) (JIMÉNEZ-RUEDA et al. 1989b; JIMÉNEZ-RUEDA, et al., 1993).

Essas estruturas definem comportamentos ambientais distintos, representando importantes fontes de caracterização de zonas de acumulação e dispersão da água em subsuperfície: no caso dos antiformes, a disposição convexa das camadas rochosas favorece a percolação de água, já no sinforme, há o impedimento da drenagem, causando saturação no substrato. Ao integrá-los à topografia, pode-se dizer que este último contribui no condicionamento morfoestrutural para potencializar a drenagem nos altos ou baixos estruturais de acordo com os altos e baixos topográficos. Esta drenagem potencializada é favorecida nos altos estruturais pelo desconfinamento das estruturas e nos baixos de forma contrária. Entretanto quando fraturados, os dois potencializam ainda mais estes fatores de suscetibilidade a vários processos degradacionais naturais.

Com relação aos Altos estruturais/Altos topográficos estes se caracterizam como áreas intensamente fraturadas e com sistema de juntas abertas, portanto de fácil captura de águas superficiais que migram para os baixos. Constituem áreas intensamente oxidantes, fortemente alteradas, com predominância de Latossolos, quando sofrem intervenção antrópica se

desestabilizam com facilidade, conseqüentemente são áreas que devem receber atenção redobrada quando da instalação de sua ocupação.

Na análise morfoestrutural foram obtidas 57 feições anômalas estruturais, destas feições 34 são Altos estruturais/Altos topográficos, duas feições são Altos estruturais/Baixos topográficos, 11 são Baixos estruturais/ Altos topográficos e 10 são Baixos estruturais/Baixos topográficos.

Ao analisarmos o Mapa morfoestrutural de feições geológicas/estruturais anômalas (Apêndice 1) observamos a área das nascentes da Bacia do Rio Juqueriquerê alinhamentos de altos estruturais/alto topográficos na região NE da bacia, essas feições estão associadas a Zona de Cisalhamento Camburu.

6.3 Análise Morfotectônica

Para a determinação da suscetibilidade das unidades geoambientais a movimentos gravitacionais de massa algo muito importante nessa avaliação é a identificação das áreas de diferentes graus de tectonismo, tensões de cisalhamento e ruptibilidade. Com vistas a alcançar esse objetivo foi realizada a análise morfotectônica da área de estudo. Os Mapas obtidos nessa análise são os seguintes: Mapa de Lineamentos estruturais, Traços de Juntas e Cruzamentos de Lineamentos Estruturais, Mapas de densidades de lineamentos estruturais, traços de juntas e cruzamentos de lineamentos estruturais e Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1 , 2 e Críticas.

A estrutura geológica é um fator condicionante dos movimentos de massa e processos erosivos. A análise dos padrões de fraturas permite determinar planos de descontinuidades, que são locais onde ocorrem intensa infiltração e circulação das águas e, portanto, são propícios a uma intensa intemperização das rochas. A velocidade do intemperismo químico depende tanto do sistema de juntas como da natureza das rochas, ou seja, o intemperismo é mais rápido e profundo onde o sistema de juntas é mais concentrado e/ou a rocha é menos resistente (MOURA, MATTOS, JIMÉNEZ-RUEDA, 2012).

6.3.1 Mapa de Lineamentos Estruturais, Traços de Juntas e Cruzamentos de Lineamentos Estruturais.

O Mapa de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas e Cruzamentos de Lineamentos (figura 33) foi obtido mediante a interpretação de imagem na ETM+/Landsat e da rede de drenagem vetorizada, segundo o método sistemático de fotointerpretação. Para a elaboração este mapa foi feita a extração, a partir da rede de drenagem e das imagens de satélite, dos traços de alinhamentos de relevo e de drenagem.

Na fotointerpretação foram obtidos 417 lineamentos estruturais (entre 502 a 4080 metros de comprimento). O número de cruzamentos de lineamentos estruturais foi de 271. Quanto aos traços de juntas foram extraídos 1669 com comprimentos entre 150 a 500 metros.

Este mapa possibilitou verificar a frequência, distribuição e sentido das falhas e juntas, identificando áreas com maior deslocamento e/ou rompimento na estrutura. O que permite delimitar áreas intensamente fraturadas, isto é, mais tectonizadas e instáveis, consequentemente, com maior potencial para a instalação de movimentos gravitacionais de massa (movimentos gravitacionais de massa ou processos erosivos).

Os lineamentos mais proeminentes na área correspondem a Zona de Cisalhamento Camburu, que se trata de um lineamento bem definido com orientação NE, formando um baixo topográfico (vale) no planalto entre o granito Pico do Papagaio e o Augen Gnáissico Juqueí e à zona de cisalhamento Bairro do Alto (MAFFRA, 2000).

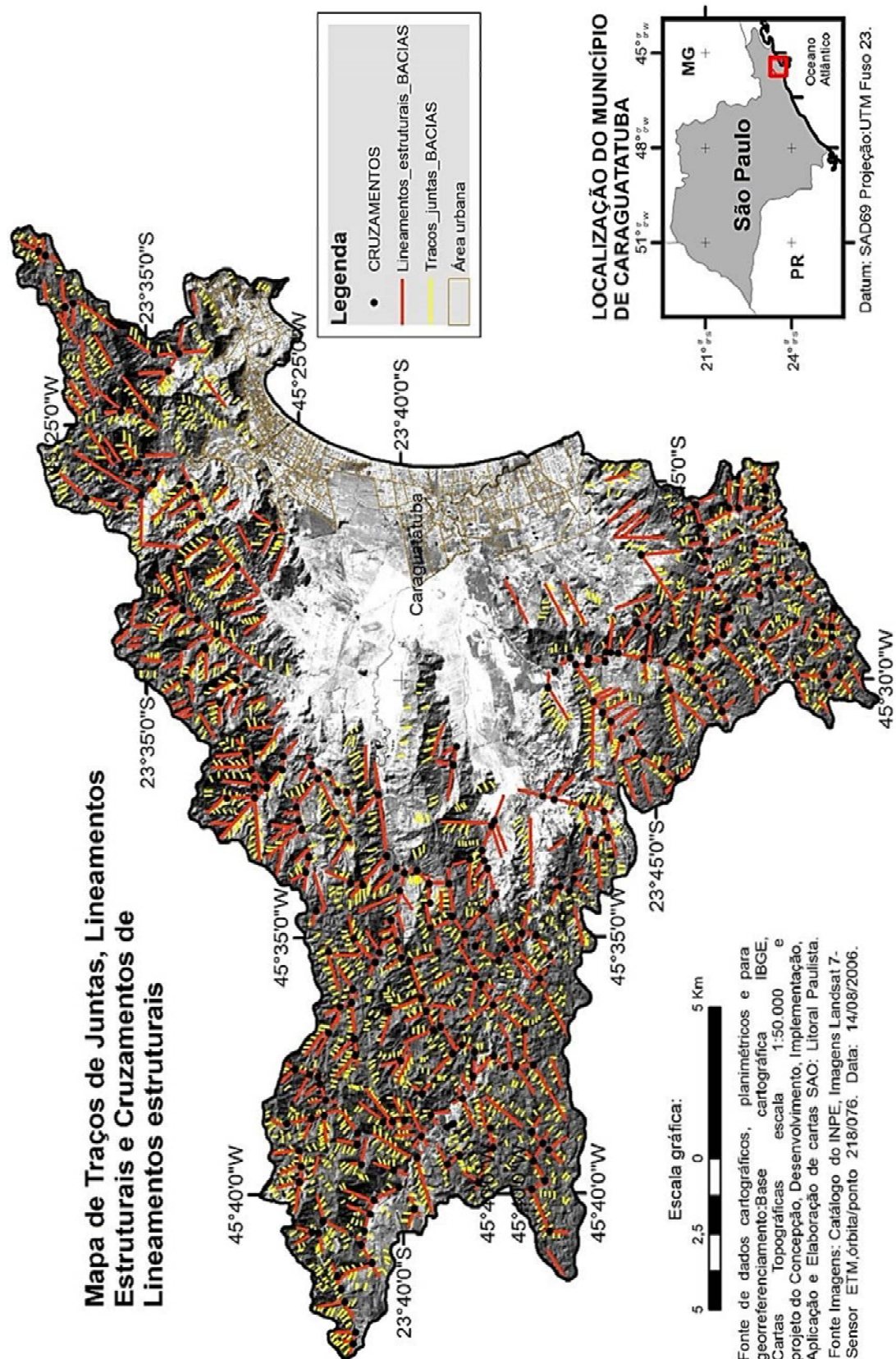


Figura 33. Representação do Mapa de Lineamentos estruturais, traços de juntas e cruzamentos de lineamentos.

Foram elaborados diagramas de rosetas no programa Spring para a caracterização das direções preferenciais dos lineamentos estruturais e traços de juntas na área de estudo (figura 34). Os diagramas de rosetas, seja em forma circular, semicircular ou em estrela, pode indicar o número total de lineamentos nas várias direções, a sua frequência ou o seu comprimento acumulado. Este tipo de diagrama é geralmente utilizado para representar os trends de lineamentos permitindo a identificação das direções estruturais dominantes bem como suas variações na área de estudo.

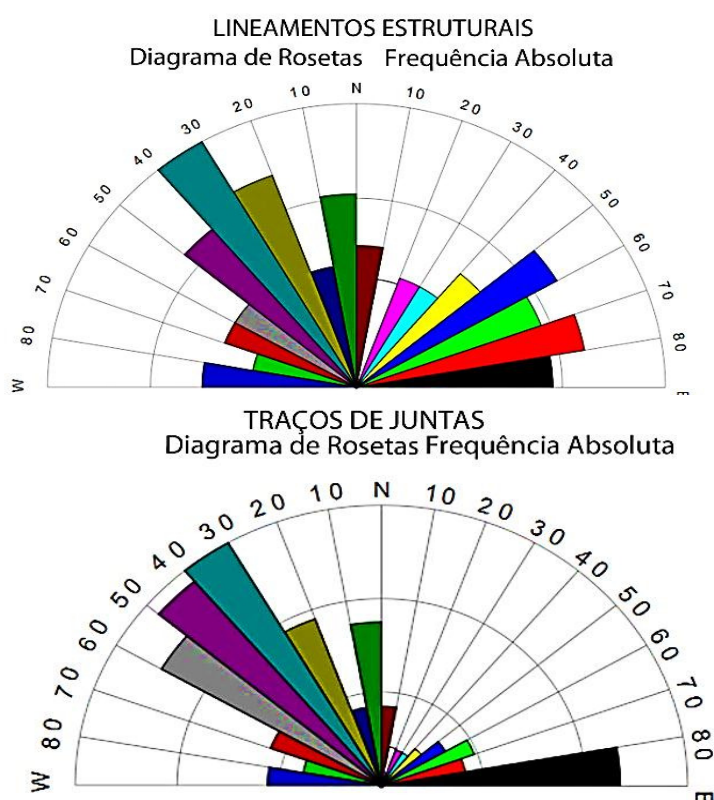


Figura 34. Diagrama de Rosetas dos Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas.

No diagrama de rosetas (figura 34), observa-se que as direções preferenciais dos lineamentos estruturais são N20-50W e secundariamente N10W e N50-80E. Quanto aos traços de junta a direção preferencial consiste em N30-40W e a direção secundária é E80W. Os lineamentos estruturais ocorrem paralelos às direções dos sistemas regionais de falhas ou dos sistemas regionais de juntas (Falha de Camburu).

6.3.2 Mapas de densidades de lineamentos estruturais e de traços de juntas

Os mapas de densidade de lineamentos estruturais (figura 35) e traços de juntas (figura 36) são derivados do Mapa de Lineamentos estruturais, Traços de Juntas e Cruzamentos de Lineamentos Estruturais. Estas mapas foram elaboradas utilizando o estimador por Kernel no programa ArcMap 9.3. Foram estabelecidos os parâmetros de entrada para a geração do mapa em célula de saída 100 por 100 m e raio de busca de 1.000.

O Mapa de Densidade de Lineamentos Estruturais e o Mapa de Densidade de Traços de Juntas permite estabelecer as áreas menos e mais percolativas, sendo que, quanto mais percolativas, mais intensos os processos erosivos. Ao observarmos as figuras 35 e 36, pode-se observar que toda a área de estudo apresenta regiões críticas quanto à ocorrência destes processos.

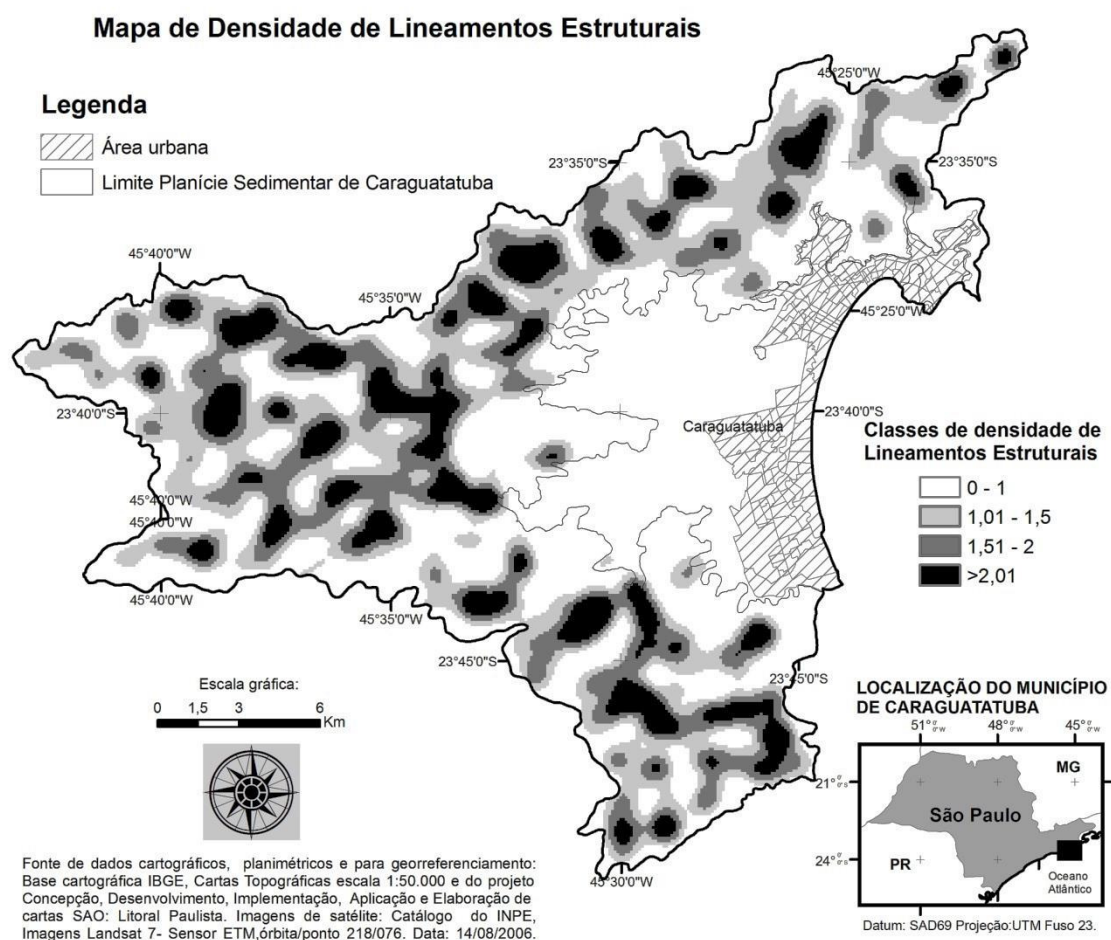


Figura 35. Representação do Mapa de densidade de lineamentos estruturais

processos erosivos lineares, escorregamentos planares ou em cunha bem como queda de blocos.

6.3.3 Mapa de densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais

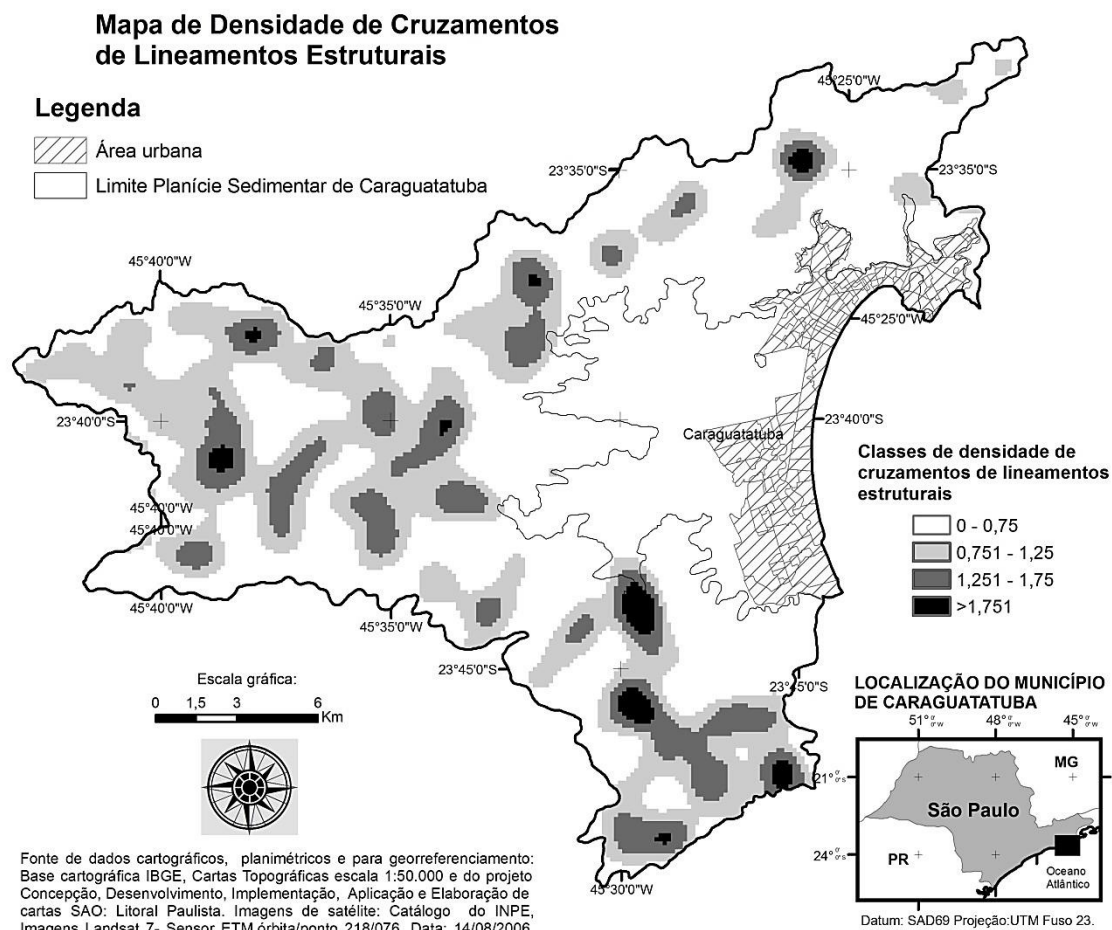


Figura 37. Representação do Mapa de densidade de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais.

Foram mapeados 271 cruzamentos de lineamentos estruturais. Na figura 37, pode-se observar um eixo principal de intensidade de ocorrência de lineamentos e cruzamentos que se estende da porção leste até a porção norte da área de estudo, com direção SW-NE representativa da Zona de Cisalhamento Camburu. Na porção Sul da área de estudo ocorre uma concentração de cruzamentos na região do Planalto de Sebastião. As zonas de cruzamento de lineamentos são áreas de fraqueza aproveitadas pelo escoamento superficial que entalha com mais facilidade canais profundos.

6.3.4 Direções preferenciais dos Traços de Juntas nas bacias hidrográficas.

Para a determinação das direções preferenciais dos traços de juntas das cinco bacias da área de estudo foram elaborados diagramas de rosetas individuais no programa Spring para cada uma das bacias. Os diagramas de rosetas obtidos para cada uma das bacias hidrográficas podem ser observados na Figura 38.

Bacias	Direções principais	
	LE	TJ
Bacia do Rio Juqueriquerê	N20-50W	N30-50W
Bacia do Rio da Lagoa	N60-70W	N10E
Bacia do Rio Santo Antônio	N50-60E	N40-50W
Bacia do Córrego do Jundiá	N50-60E	N30-40W
Bacia do Rio Guaxinduba	N80E	N30-50W

Quadro 13. Direções principais dos Lineamentos estruturais e Traços de Juntas das bacias hidrográficas da área de estudo.

No quadro 13 estão as direções principais de lineamentos estruturais e traços de juntas observáveis nas rosetas. É possível notar que ocorre uma mudança drástica na direção principal dos lineamentos estruturais entre as bacias 2 e 3, isso pode significar uma mudança nos regimes de tensões atuantes nestas bacias, ou seja uma ZVM.

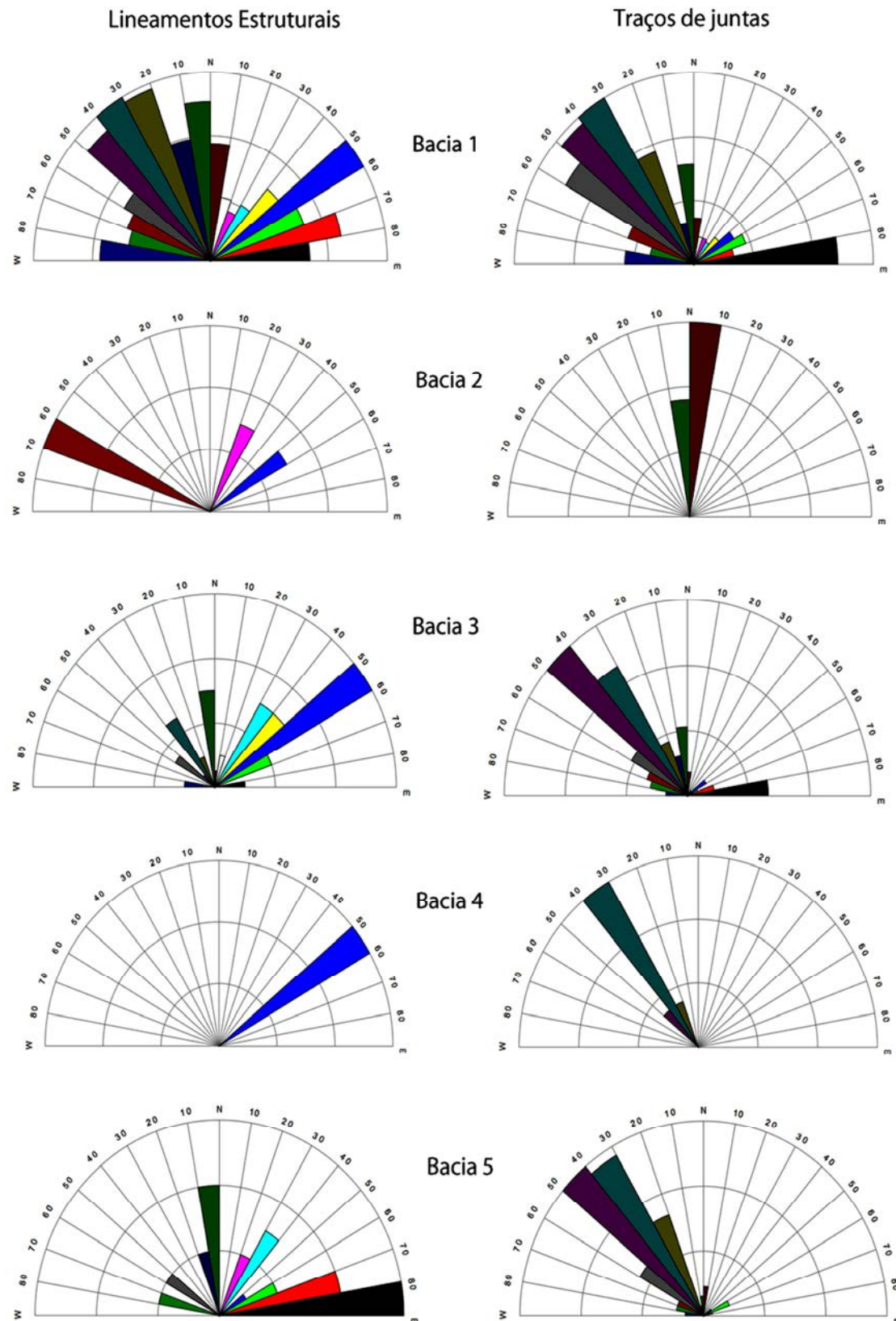


Figura 38. Rosetas de frequência absoluta das bacias hidrográficas.

6.3.5 Mapa de Zonas de Variação de Máximos(ZVM) 1 e 2 de Traços de juntas e Zonas Críticas

As zonas de variação de máximos de traços de juntas indicam zonas tectonicamente muito ativas. Estas são áreas fraturadas em várias direções caracterizando materiais muito alterados, ou seja, muito decompostos, materiais estes que podem ser considerados como muito suscetíveis a escorregamentos. As áreas mais fraturadas são aquelas onde há variação de máximos 1 e 2 concomitantemente (Zonas críticas), seguidas daquelas em que há variação somente dos máximos 1 e finalmente variação somente no máximo 2.

Na figura 39 podemos observar que na região NE da área de estudo estão localizadas as ZVM1_4 e ZVM2_4, da sobreposição destas duas zonas surge uma Zona Crítica. O número de cicatrizes de escorregamentos localizadas nessa área confirma que o método de análise morfotectônica permite a identificação de áreas de alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. As cicatrizes observadas foram obtidas no inventário realizado e podem ser observadas em detalhes no item 6.4.1 desta tese.

Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e Zonas Críticas

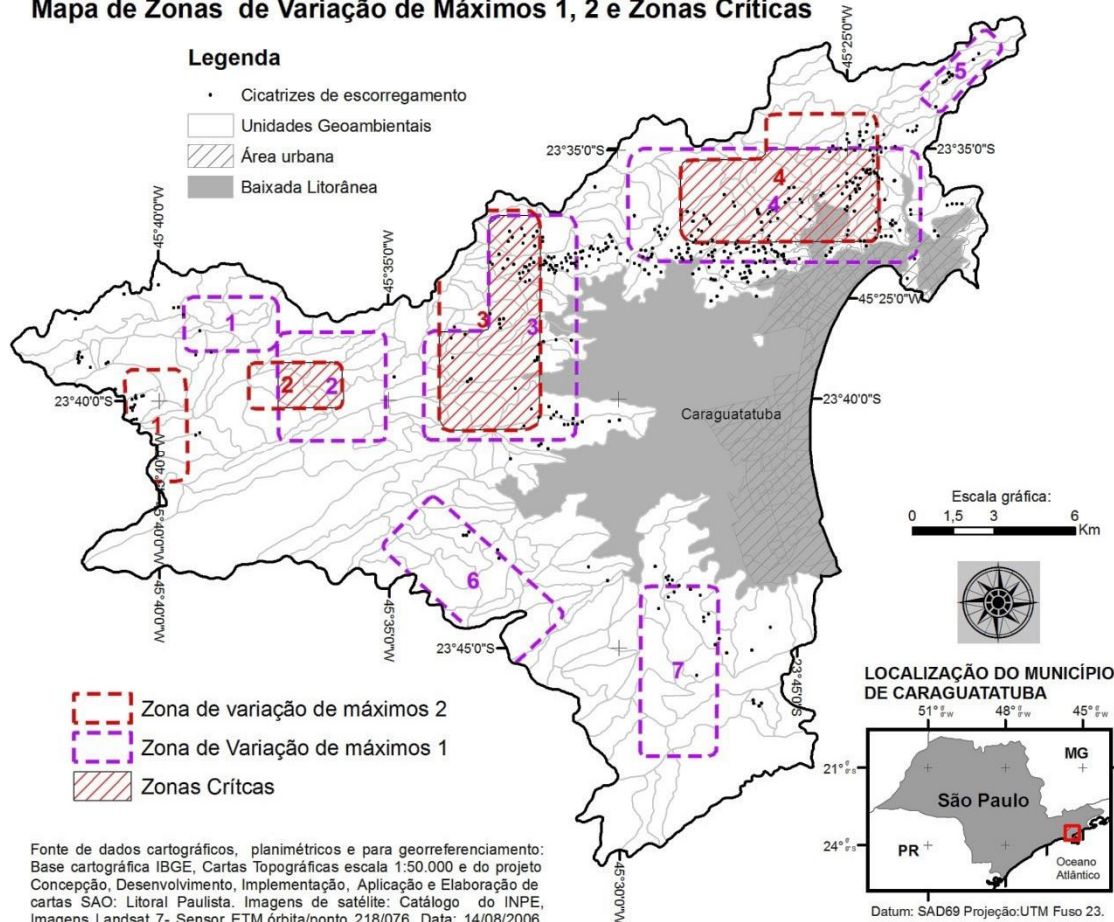


Figura 39. Mapa de Zonas de variação de máximos 1 e 2 e Zonas Críticas.

Na área de estudo foram identificadas quatro ZVM1, sete ZVM2 e três Zonas críticas observáveis nas figura 39 e 40. Nestas zonas ocorrem variações bruscas nas suas direções de traços de juntas significando intensa percolação de fluidos, responsável por maior meteorização e consequentemente maior erodibilidade nos complexos solo/paisagem/rocha.

ZVM1	Direções de Variação	ZVM2	Direções de Variação
1	N30-60W/N80E	1	N10E/N80E
2	N30-50W/N80E	2	N80W/N20E
3	N20-50W/N80W	3	N10E/N20-50W
4	N80W/N40-50W	4	N80E/N10E
5	N20-40W/N80E		
6	N30-50W/N80E		
7	N10E/N20-50W		

Figura 40. Direções principais das ZVM1 e ZVM2.

As regiões onde coincidem as variações de máximos 1 e 2 (Zonas Críticas) são áreas onde os processos erosivos já se instalaram, possuindo portanto alta erodibilidade. Já as áreas onde ocorrem somente a variação de máximo 1 representam erodibilidade alta e nas de máximo 2, os processos de erodibilidade são apenas potencializados e não instalados, onde as formas de relevo encontram-se em equilíbrio dinâmico, mais se desestabilizando quando ocorre uma intervenção antrópica não compatível com tal equilíbrio (MATTOS et al., 2002).

Na área de estudo, mais especificamente na área próxima a zona de escarpas festonadas voltadas para o município de São Sebastião, ocorre uma zona de variação de máximos 1 e 2. Assim sendo, esta configura-se numa área de grande instabilidade do meio físico com prováveis processos erosivos e gravitacionais, nesta área localiza-se o sistema de cavalcamento São Sebastião. Outras zonas de variação de máximos ocorrem na região N da área de estudo na faixa de Cisalhamento Transcorrente Camburu.

Os detalhes da sistemática de elaboração do Mapa de ZVM 1, 2 3 críticas podem ser observados Apêndice 2.

6.4 Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

Neste trabalho o termo suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa refere-se à disposição ou tendência das unidades geoambientais mapeadas a movimentos gravitacionais de massa.

Utilizando-se do princípio da convergência de evidências se realizou a integração das informações obtidas na área, para estabelecer, em caráter regional, as áreas mais suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa.

A seguir pode-se observar em detalhe a análise dos atributos ambientais para a determinação dos pesos e valores a serem utilizados na elaboração do Mapa de Suscetibilidade Ambiental a Movimentos gravitacionais de massa.

6.4.1 Elaboração de inventário de cicatrizes de escorregamento

Nesta etapa da tese buscou-se analisar e hierarquizar os fatores e métodos utilizados para determinação de áreas instáveis. Para isto realizou-se um inventário das cicatrizes de escorregamentos dentro de cada uma das unidades geoambientais compartmentadas. O Mapa de cicatrizes de escorregamentos (figura 41) servirá para determinar os pesos e valores de cada fator utilizado na determinação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

O inventário de escorregamentos foi elaborado através de pontuação visual nas ortofotos das cicatrizes para cada uma das unidades geoambientais. Este mapa foi elaborado a partir das ortofotos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA, (2000), escala 1:10000. Neste inventário foram localizados 438 pontos de cicatrizes de escorregamentos dentro do limite da área de estudo. O objetivo da obtenção deste mapa é a associação entre os fatores considerados na fotointerpretação e as cicatrizes de escorregamentos mapeadas, de forma a validar e avaliar os resultados obtidos.

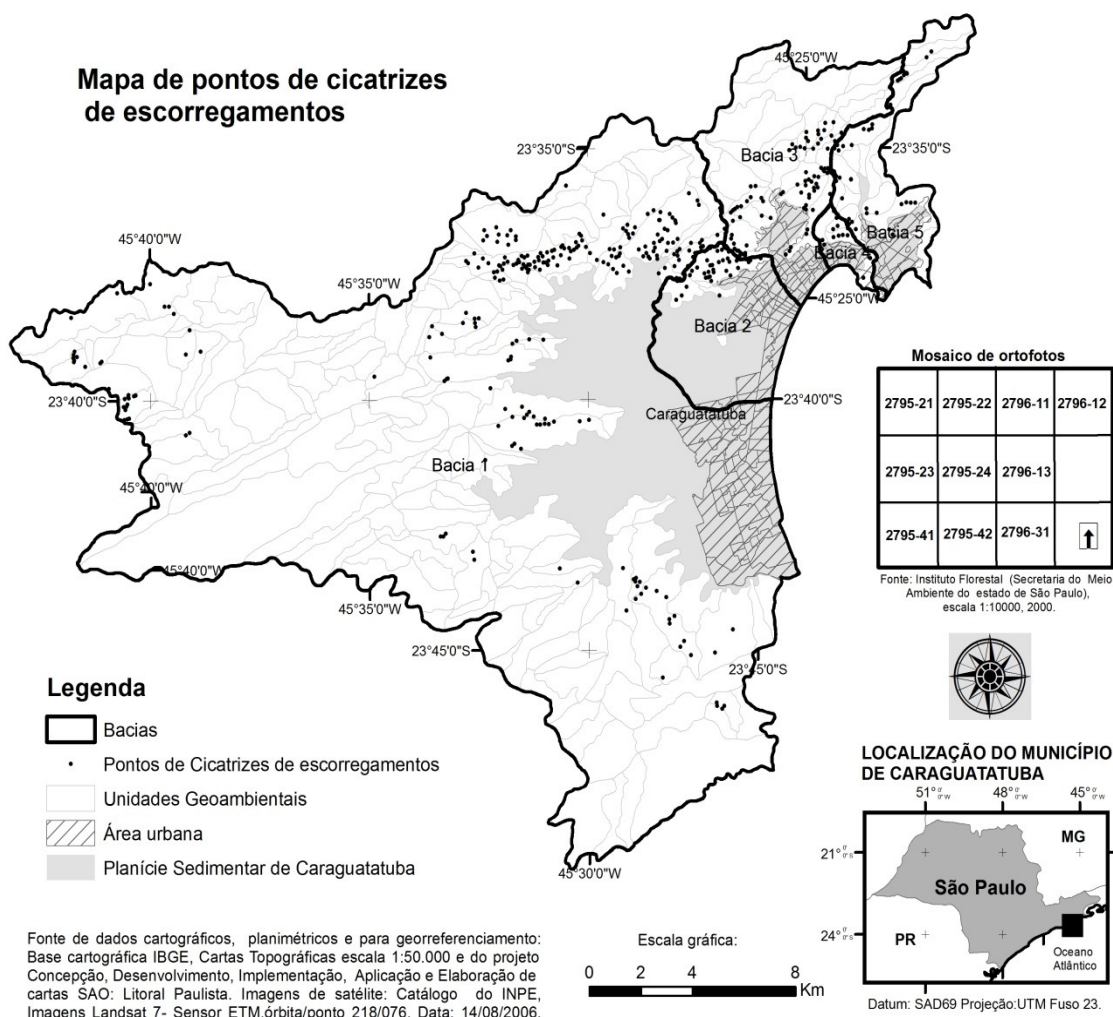


Figura 41. Mapa de inventário de cicatrizes de escorregamento obtidas nas ortofotos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA, (2000).

A partir do inventário de cicatrizes de escorregamentos podemos analisar a distribuição das cicatrizes nas unidades geoambientais, bacias, zonas e subzonas delimitadas na tese. Na figura 42 podemos destacar a concentração de escorregamentos (63%) na Subzona SIII e em segundo lugar na Subzona C com 14% das cicatrizes - boa parte destas cicatrizes estão associadas ao evento catastrófico de 1967. A partir deste resultado já percebemos que as áreas de escarpas são sem dúvida as mais suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, pois fica evidente o papel do fator declividade nesta configuração.

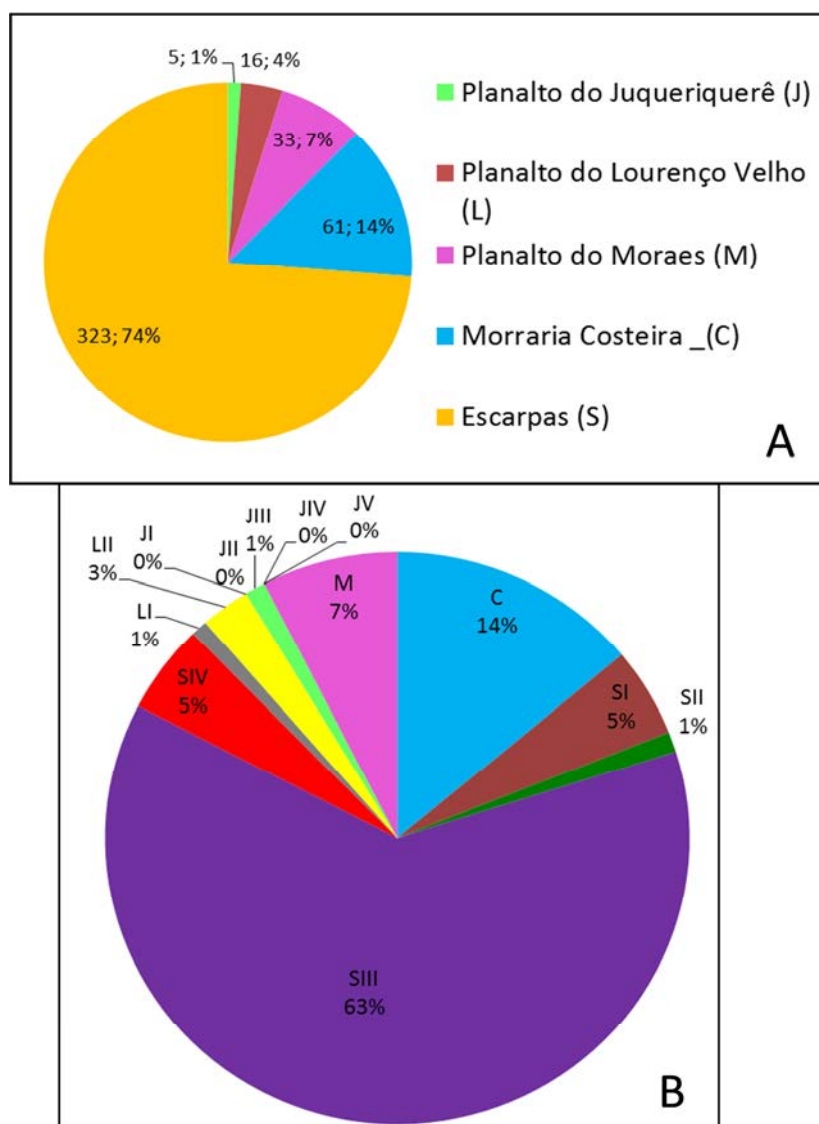


Figura 42. Distribuição das cicatrizes de escorregamentos por Zonas (A) e Subzonas (B).

6.4.2 Validação dos resultados e escolha de pesos e valores para fatores

Após inventário dos pontos de cicatrizes de escorregamentos da área de estudo esses pontos foram associados - no banco de dados do ArcMap 9.3 - as unidades geoambientais na qual se localizavam. Em seguida foram também associados aos fatores de análise considerados no mapeamento (alterabilidade, permeabilidade, tropia, declividade, orientação de vertentes e densidade de nascentes), com o objetivo de validar ou não os parâmetros utilizados e determinar seus pesos. Para facilitar essa validação foram elaborados gráficos com a distribuição das cicatrizes de escorregamentos para cada classe dos fatores. Essa análise pode ser observada nas figuras 43 e 44.

Na fotointerpretação três fatores foram considerados para a determinação da Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa. Os fatores foram alterabilidade, permeabilidade e tropia. No caso do fator alterabilidade foram localizados 183 escorregamentos associados à classe de muito alta alterabilidade. Houve também uma gradual diminuição dos escorregamentos nas classes subsequentes (alta, moderada e baixa). Esse fator apresentou uma validade satisfatória e foi mantido sem modificações. Ao fator alterabilidade foi atribuído peso 1.

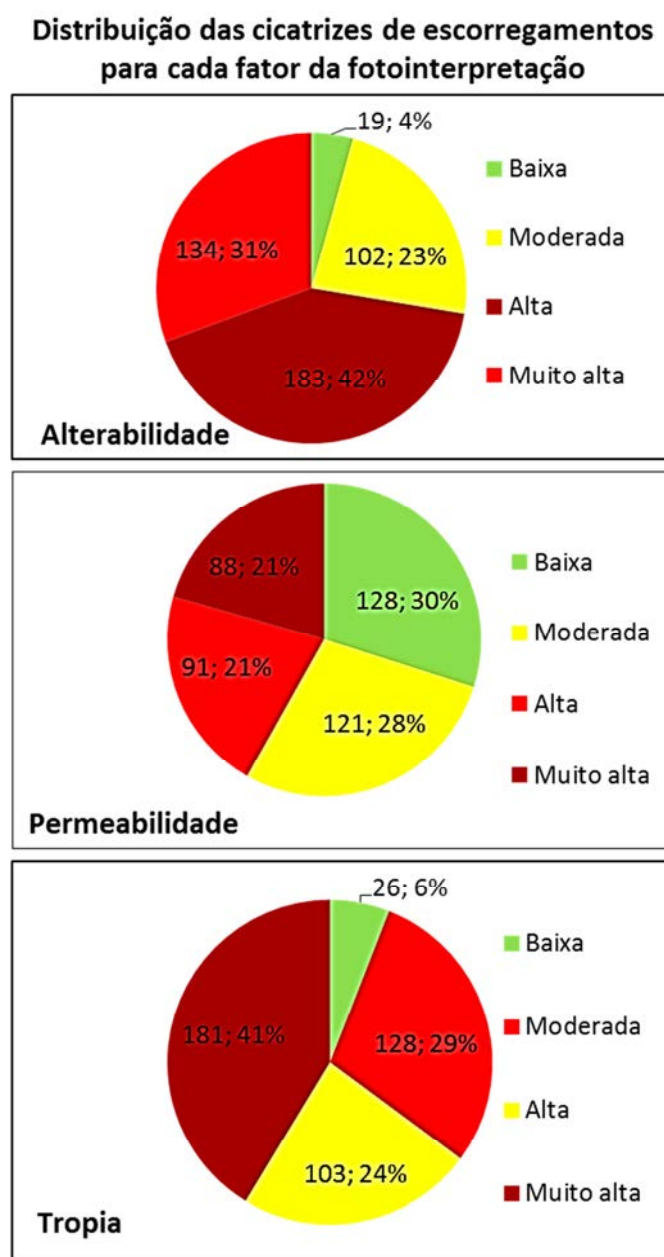


Figura 43. Associação entre os fatores considerados na fotointerpretação e as cicatrizes de escorregamentos mapeadas.

Já o fator permeabilidade apresentou uma inversão nos valores inicialmente escolhidos. Os valores inicialmente atribuídos (baixa 1, moderada 2, alta 3 e muito alta 4) foram invertidos para 4 para baixa permeabilidade, 3 moderada, 2 alta e 1 para muito alta em concordância com o resultado obtido na figura 43, pois ao se observar o gráfico percebe-se uma diminuição dos escorregamentos com o aumento da permeabilidade. A esse fator foi atribuído peso 1.

O fator tropia apresentou 41% das cicatrizes de escorregamentos na classe de muito alta tropia, 24% na alta, 29% na moderada e 6% na baixa, observáveis na figura 43. Apesar da inversão do número de cicatrizes de escorregamentos entre as classes alta e moderada, a associação entre os valores e as cicatrizes foi satisfatória. Na área de estudo há alto controle estrutural devido a localização da Zona de Cisalhamento Camburu, em função disso foi atribuído peso 1,5 para esse fator.

Também foram atribuídos valores a análise morfométrica do relevo (figura 44). Os fatores considerados foram orientação de vertentes, declividade, densidade de drenagem e densidade de nascentes. Na associação dos escorregamentos com a orientação de vertentes obteve-se um resultado muito bom, pois 44% das cicatrizes estavam associadas à orientação sul para o qual foi atribuído valor 4 na classificação, enquanto 33% estavam associadas a orientação sul que foi atribuído valor 3. A essa classe foi conferido peso 1,5.

Sabe-se que na identificação de movimentos gravitacionais de massa, o fator declividade é de extrema importância. Ao analisar os intervalos de classes atribuídos com as cicatrizes de escorregamento (figura 44) notou-se que a classe 20-45° concentrou 68% dos escorregamentos, este resultado consolidou a ideia de Fernandes et. al, (2001), de que as encostas alcançam um limite crítico e novos incrementos na declividade, ao contrário de induzirem mais deslizamentos acarretam uma diminuição no potencial destes. Sendo assim essa classe recebeu os seguintes valores para as classes: de 0-8 (valor 1), 8,01-20 (valor 3), 20,01-45(valor 4), >45(valor2). O peso atribuído para esta classe foi 2.

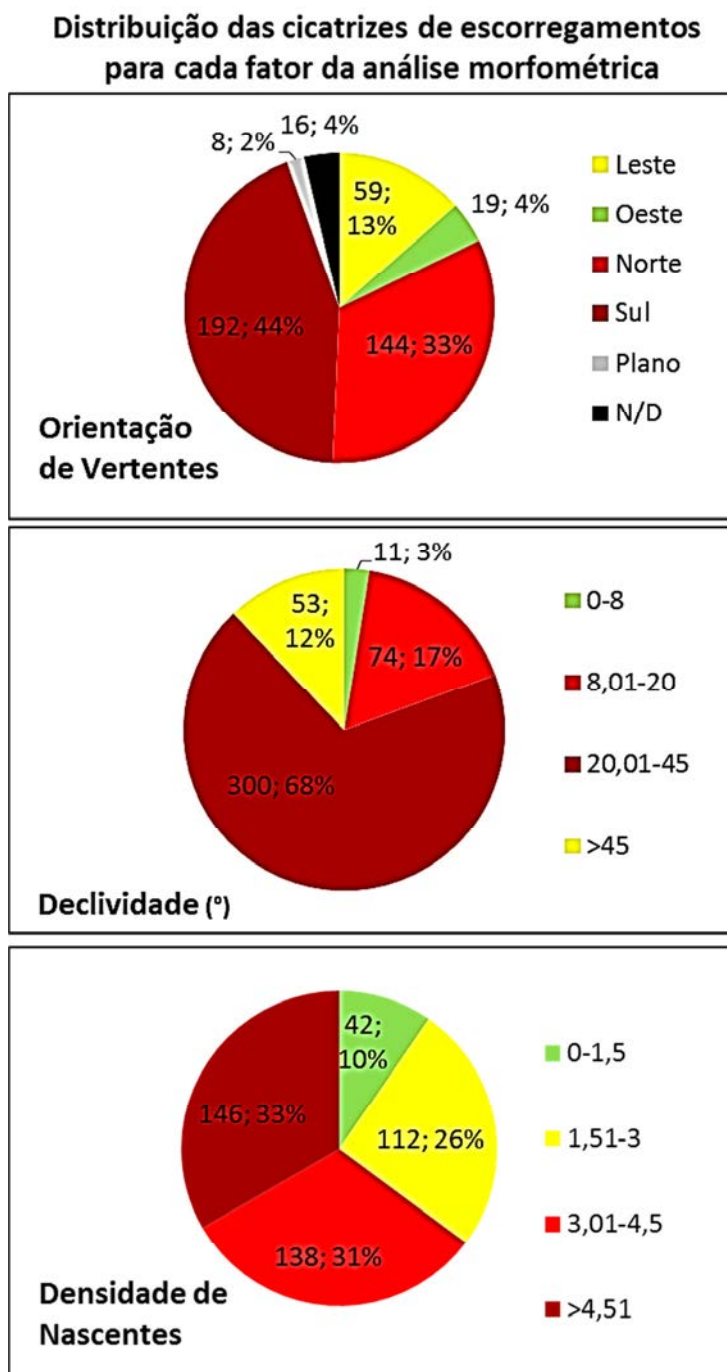


Figura 44. Associação entre os fatores considerados na análise morfométrica do relevo e as cicatrizes de escorregamentos mapeadas.

Na análise da associação para o fator densidade de nascentes a distribuição de número de pontos de cicatrizes de escorregamentos este fator apresentou um crescimento gradual conforme o aumento da densidade de nascente (figura 44), sendo assim os valores atribuídos foram 1, 2, 3 e 4 para as classes baixa, moderada, alta e muito alta respectivamente. Para a densidade de nascentes foi atribuído peso 1.

6.4.3 Classificação de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa

No quadro 14 estão detalhados os pesos atribuídos a cada fator e os respectivos valores conferidos a cada classe, para determinação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa das unidades geoambientais. A tabela com todos os valores atribuídos as unidades geoambientais pode ser observada no apêndice 4.

Fator	Pesos	Valores para classes
Alterabilidade	1	Muito alta(4), alta(3), moderada(2) e baixa(1)
Permeabilidade	1	Muito alta(1), alta(2), moderada(3) e baixa(4)
Tropia	1,5	Muito alta(4), alta(3), moderada(2) e baixa(1)
Orientação de vertentes	1,5	Sudeste, Sul e Sudoeste (4), noroeste, norte e nordeste(3), leste e oeste (2) planos e não definidos(1)
Declividade	2	0-8 (1), 8,01-20 (3), 20,01-45(4) e >45(2).
Densidade de nascentes	1	0-1,5 (1), 1,51-3 (2), 3,01-4,5 (3) e >4,5 (4).

Quadro 14. Pesos e valores atribuídos a cada fator de análise para determinação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa das unidades geoambientais.

Após a determinação dos pesos e valores a serem utilizados na determinação da suscetibilidade do meio físico das unidades, calculou-se a média ponderada desses fatores, considerando seus respectivos pesos. Esse valor foi utilizado para classificação da suscetibilidade do meio físico das unidades geoambientais. Na figura 45 podemos observar a fórmula utilizada para isto.

$$SA = \frac{(A + P + T * 1,5 + Ov * 1,5 + D * 2 + Dn)}{6}$$

Figura 45. Fórmula utilizada para a avaliação da suscetibilidade do meio físico das unidades geoambientais.

Com a definição dos valores da suscetibilidade do meio físico - estes valores estão disponíveis no apêndice 4 - para cada uma das unidades geoambientais partiu-se para a definição das classes. Essa categorização foi executada no programa ArcMap 9.3 e o método selecionado foi o *Natural*

Breaks (Otimização de Jenks) para a definição das classes (baixa, moderada, alta e muito alta). Este método permite a formação de grupos que são homogêneos internamente e assegura a heterogeneidade entre as classes.

As classes são estabelecidas a partir das quebras identificadas pelo ordenamento dos atributos, resultando em classes com valores próximos enquanto as diferenças entre as classes são maximizadas. É utilizado o algoritmo denominado de otimização de Jenks para classificar os atributos. Este algoritmo agrupa os atributos baseado no menor erro possível, definido pela soma absoluta dos desvios da classe mediana ou, alternativamente, a soma quadrada dos desvios da classe média (ESRI, 2004).

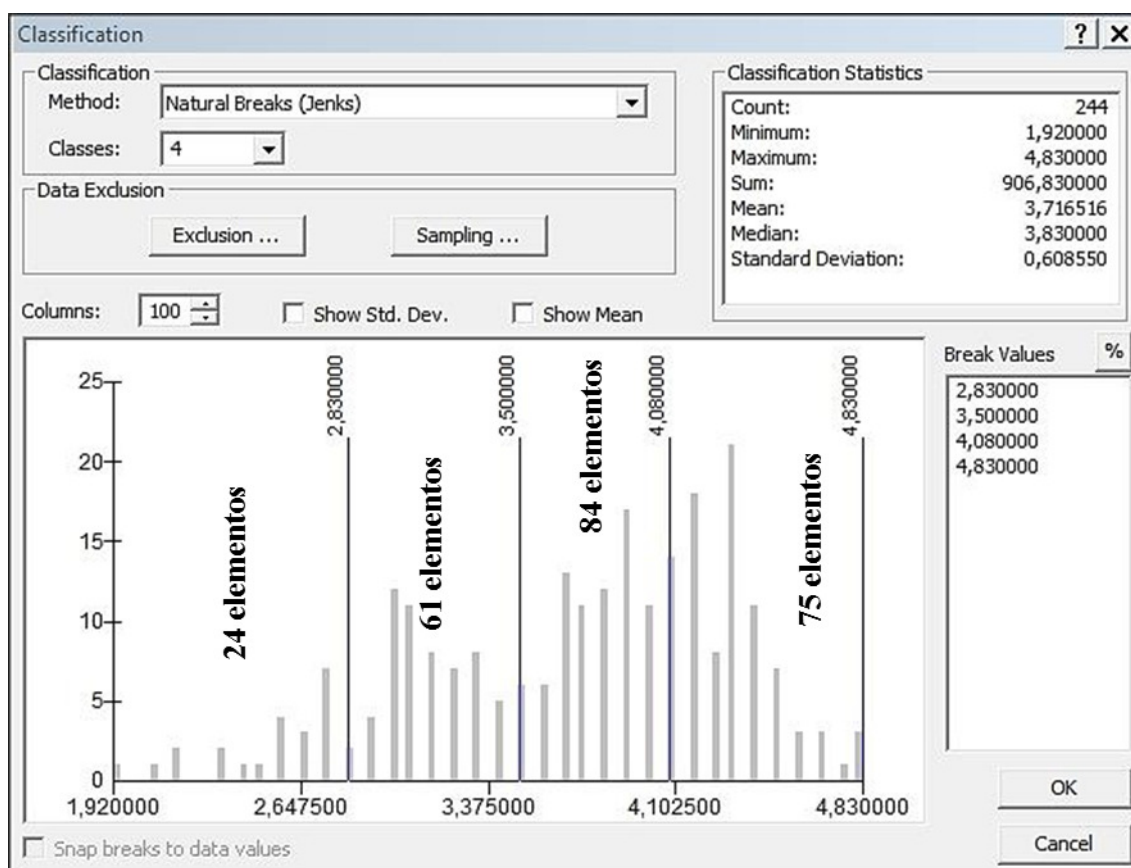


Figura 46. Detalhe da Classificação da Suscetibilidade Do meio físico executada no ArcMap 9.3.

Na figura 46 pode-se observar os detalhes da classificação feita no Arcmap 9.3 com valores dos intervalos de classes definidos e número de elementos por classe. No Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa (figura 47) os quatro intervalos de classe foram

definido como: Baixa Suscetibilidade Do meio físico (intervalo 1,92-2,83) em cor verde; Moderada Suscetibilidade Do meio físico (intervalo 2,831-3,50) cor amarela; Alta Suscetibilidade Do meio físico (intervalo 3,501-4,08) em cor laranja e Muito Alta Suscetibilidade Do meio físico (intervalo 4,081-4,83) cor vermelha.

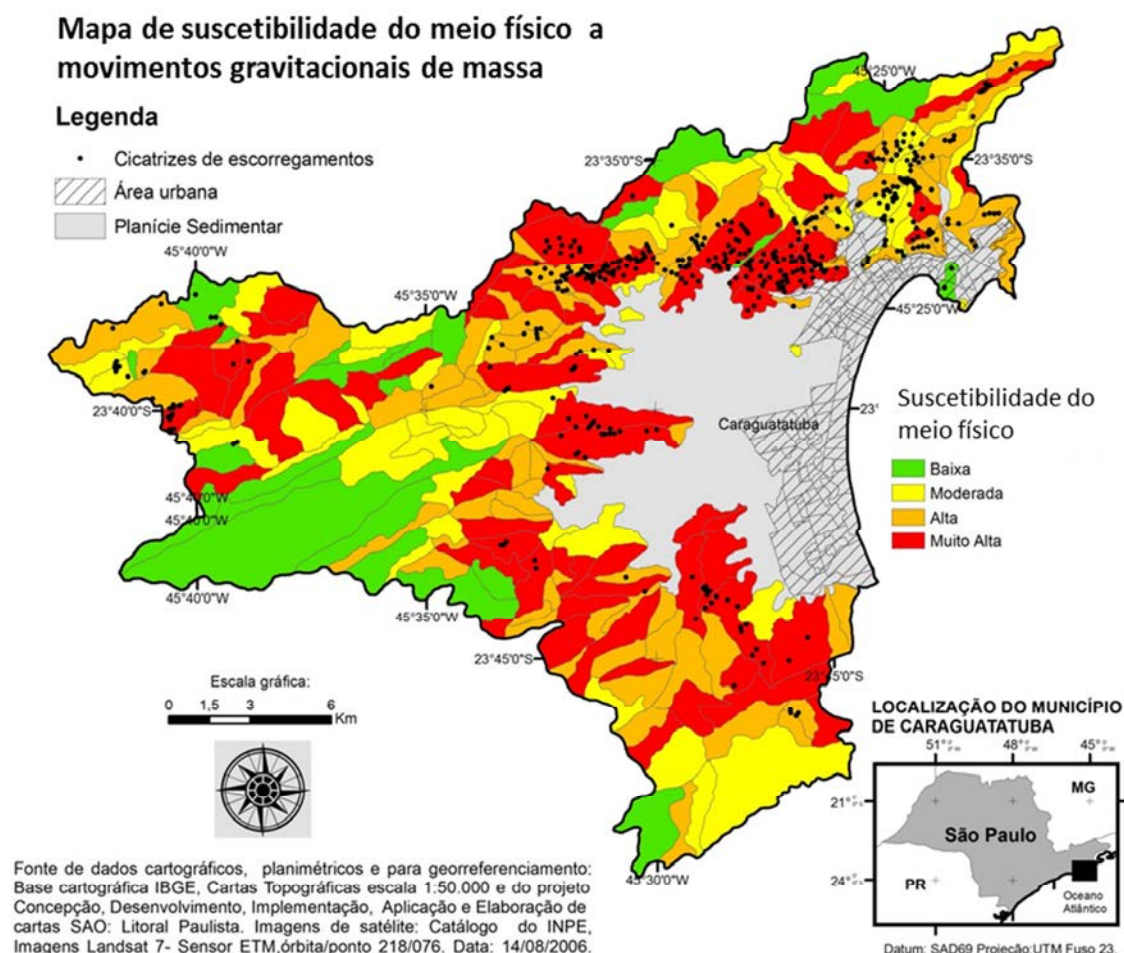


Figura 47. Mapa de Suscetibilidade do meio físico a Movimentos gravitacionais de massa.

No total foram compartimentadas 244 Unidades Geoambientais classificadas como: 24 unidades geoambientais como de baixa suscetibilidade, 61 de moderada, 84 com alta suscetibilidade do meio físico e 75 de muito alta suscetibilidade.

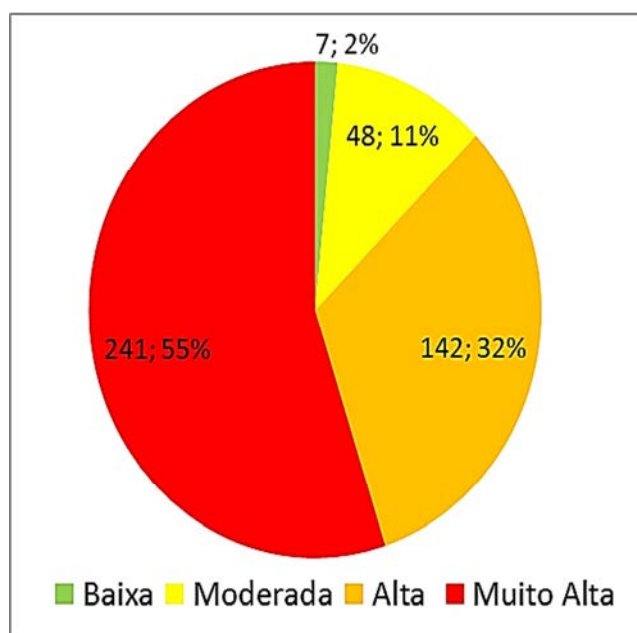


Figura 48. Gráfico da distribuição das cicatrizes de escorregamentos entre as classes de suscetibilidade do meio físico.

Ao associarmos as unidades geoambientais já classificadas com os pontos de cicatrizes de escorregamentos foi obtido o seguinte resultado: 7 pontos de cicatrizes estão associados a classe de baixa suscetibilidade do meio físico; 48 a moderada; 142 cicatrizes a classe de alta suscetibilidade e 241 associadas a muito alta suscetibilidade do meio físico (figura 48). Esse resultado se mostrou muito satisfatório e comprovou que o procedimentos utilizados permitiram a identificação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa na área de estudo.

No quadro 15 podemos observar a legenda que integra o Mapa de Suscetibilidade Do meio físico a movimentos gravitacionais de massa. Esta legenda possui uma síntese de todos os resultados obtidos nesta tese e servirá ao profissional, técnico ou especialista como um facilitador em sua tomada de decisão no monitoramento e gerenciamento do meio físico destas unidades.

Suscetibilidade do Meio Físico à Movimentos gravitacionais de massa				
Baixa	Apresenta baixa tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades geomorfométricas exigem monitoramento e manutenção mínima para ocupação.			
Moderada	Estas unidades geomorfométricas exibem moderada tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos, exigem moderado monitoramento e mínima intervenção estrutural para erradicação de riscos.			
Alta	Apresenta alta tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades geomorfométricas exigem constante monitoramento e grandes intervenções estruturais para diminuir ou erradicação de riscos na ocupação.			
Muito Alta	Nestas unidades não é recomendada a ocupação sem estudos prévios para a redução ou erradicação dos riscos. Apresenta muito alta tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades exigem monitoramento de campo constante, principalmente durante os períodos críticos de pluviosidade.			
Análise Morfoestrutural - Feições Anômalas				
As áreas próximas às feições anômalas devem receber monitoramento e estudos prévios para a redução ou erradicação de riscos inerentes a intervenções antrópicas. Processos erosivos, movimentos gravitacionais e processos de alterações intempéricas locais podem ser acelerados pelas intervenções estruturais na instalação de obras, ocasionando problemas geotécnicos.				
	A/A	A/B	B/A	B/B
Intemperismo	Intemperismo muito forte	Intemperismo forte	Intemperismo moderado/forte	Intemperismo fraco
Relação Pedogênese x Morfogênese	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese
Tipo dos Sistemas	Abertos	Semiabertos	Semifechados	Fechados
Circulação de água	Alta (Alforamento do lençol)	Média a alta	Restrita	Alta e direcionada (Áreas de alagamentos)
Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa	Muito Alta	Moderada	Alta	Baixa à nula
Zonas da Variação de Máximos (ZVM) 1 e 2 de Traços de Juntas				
Estas zonas são consideradas como de grande instabilidade pois sofreram ou sofrem forte influência deformacional rúptil, de compressão ou desc. compressão. Essas áreas devem ser analisadas com atenção especial ao fluxo d'água subterrâneo orientado que pode levar ao desencadeamento de processos de alteração do material, erosão inicialmente concentrada podendo evoluir para erosão laminar e movimentos de massa gravitacionais.				
ZVM 1		ZVM 2		
ZVM 1 e 2 (Zonas críticas)				
Áreas muito instáveis submetidas a pelo menos duas direções de esforços	Áreas instáveis submetidas a pelo menos duas direções de esforços	Áreas muito instáveis, pois estão submetidas a pelo menos quatro direções de esforços		

Quadro 15. Legenda do Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa

O mapa de susceptibilidade do meio físico foi plotado na escala 1:75000 e pode ser observado no Apêndice 3.

7. CONCLUSÃO

A estruturação de uma sistemática de zoneamento do meio físico para determinação de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa pressupõe uma abordagem inter e transdisciplinar, que considere a dinâmica das interações e articulações entre os componentes que promovem este fenômeno. A aplicação destes princípios deve definir o grau de suscetibilidade, sensibilidade e vulnerabilidade da área, permitindo a projeção do comportamento futuro diante das diversas alternativas de expansão e integração da estrutura produtiva no processo de ocupação e uso do território.

Apesar de nesta tese os objetivos estarem relacionados a identificação de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa esta sistemática permite a aplicação para múltiplos usos, necessitando apenas da uma adaptação de acordo com objetivos do zoneamento. Para a adaptação da sistemática deve partir-se do estabelecimento de um referencial (bibliográfico e cartográfico) que possibilite alcançar os objetivos do planejamento socioambiental ou econômico-político a que se destine.

Para a determinação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa um atributo importante não foi considerado pela indisponibilidade desta informação, no caso, a profundidade do manto de alteração. Esta informação quando associada a declividade define a velocidade dos movimentos de

massa, como também a dimensão de área a ser atingida em um escorregamento.

A qualidade do zoneamento está relacionada com o nível de detalhamento dos mapas temáticos e a determinação da importância relativa das variáveis. No que se refere ao nível de detalhamento sugere-se que todos os mapas temáticos possuam uma mesma escala de detalhamento, evitando generalizações excessivas que possam comprometer a ponderação das evidências no diagnóstico zero.

As dificuldades na realização de trabalho de campo no município de Caraguatatuba devido às características da área de estudo com vertentes muito íngremes e vegetação densa, estabeleceram limites a análise da paisagem. Sendo assim, o uso das ortofotos permitiu uma validação de dados fora do campo que foram eficientes para os objetivos estabelecido no planejamento da tese.

Outra dificuldade encontrada na tese esta relacionada a escala do material cartográfico de base utilizado. Foram obtidos apenas dados na escala 1:50000 do IBGE, a escala destes dados levou a uma grande generalização das classes nas unidades geoambientais o que prejudicou a determinação da classificação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

A utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitiu a geração de mapas temáticos e garantiu a eficiência e rapidez no processo de manipulação e tratamento de dados, assim facilitou a tomada de decisões quanto aos produtos cartográficos finais elaborados.

O Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa considerou apenas as zonas geomorfológicas de Planaltos Serranos e Escarpas costeiras, já que as áreas da baixada litorânea não ofereceram resultados a partir dos atributos, e os métodos utilizados não se mostraram eficientes para detecção dos processos erosivos e movimentos gravitacionais nestas áreas.

Apesar das limitações oferecidas pela análise qualitativa, a avaliação dos condicionantes e indícios da ocorrência de processos de instabilidade para

as unidades permitiu a elaboração de um produto cartográfico integrado e de síntese. Este produto possui qualidade técnica e pode ser elaborado a baixos custos. A integração de diversas técnicas em um único mapa permite ao profissional especialista hierarquizar os níveis de suscetibilidade do meio físico a processos geodinâmicos de uma área, tornando mais rápida a tomada de decisão e melhorando o direcionamento dos investimentos de controle e redução de riscos.

A execução de uma análise morfotectônica/morfoestrutural foi imprescindível, pois permitiu uma visão regional das estruturas e dos processos atuantes condizente com a escala do trabalho, deste modo conhecendo as direções principais dos fraturamentos de determinada região avalia-se melhores escolhas na ocupação, gestão e manutenção das unidades geoambientais. Em se tratando de um ambiente geologicamente complexo como o da área de estudo essa análise torna-se ainda mais importante.

O procedimento para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa demonstrou ser eficiente na detecção dos processos geodinâmico a que se propôs, pois os atributos considerados permitiram entender as unidades geoambientais através de uma análise sistêmica. Esta análise sistêmica permitiu estabelecer e analisar as inter-relações entre os fatores analisados, bem como compreender os vínculos de dependência entre alguns destes fatores.

A legenda do Mapa de Suscetibilidade foi organizada de forma que o usuário técnico possa tomar decisões de forma rápida e segura tendo uma visão das áreas que necessitam de intervenção estrutural para redução e erradicação dos riscos inerentes a sua ocupação. Também permite que se definam áreas que carecem de monitoramento permanente de campo se ocupadas de forma irregular, ou seja, áreas que a ocupação não ocorreu de acordo com planejamento e respeito das diretrizes dos planos diretores municipais.

É necessário salientar que a sistematização apresentada nesta tese possui baixo custo de execução e demonstrou eficiência técnica para as escalas estratégica, tática como também operacional ou de detalhe para

identificação de áreas com suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Ao associarmos os resultados obtidos com as cicatrizes de escorregamento no inventário obtivemos um resultado muito satisfatório. Este fato comprovou que os procedimentos utilizados permitiram a identificação da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa.

O agrupamento das técnicas utilizadas na tese demonstrou ser eficiente para uma visualização integrada dos elementos da área de estudo. Sendo assim esta sistemática pode contribuir no mapeamento de outras áreas no Brasil (principalmente nas áreas de planaltos e escarpas costeiras) sem acesso a produtos cartográficos deste tipo utilizando unicamente dados gratuitos obtidos em institutos de pesquisas nacionais como o INPE e o IBGE.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia-Questões de Escala e Métodos. **Revista Estudos Avançados** - USP. São Paulo. V. 3, n-5, jan./abr. 1989.

AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do litoral paulista. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, n.1, p.3-44, 1955.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista in Geologia do Estado de São Paulo, **Boletim Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, nº 41, p. 169-263, 1964.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO C. D. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, nº 2, p. 135-150, jun.1998.

BARTOLOMEU, D. **Zoneamento Geoambiental do município de Cristais Paulistas (SP) com base na caracterização e aspectos evolutivos do meio físico**. Trabalho de Conclusão do Curso (Geologia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP- Rio Claro, 2009.

BENINI, M. L. A. **Zoneamento geoambiental como instrumento de planejamento e gestão de recursos do pólo cerâmico de Santa Gertrudes**. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia Ambiental), Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro, 2009.

BIGARELLA, J.J.; BECKER R. D. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. 875p.

BLOOM, A.L. (1991), **Geomorphology: a systematic analysis of late cenozoic landforms**, London: Prentice Hall (UK), 348p.

BRASIL, IBGE, Carta do Brasil -Escala 1:50000-SF -23-Y-D-VI-1 (Caraguatatuba), 1976.

BRASIL, IBGE, Carta do Brasil -Escala 1:50000-SF-23-Y-D-V-2 (Pico do Papagaio), 1974.

BRASIL, IBGE, Carta do Brasil -Escala 1:50000-SF-23-Y-D-V-4 (Maresias), 1973.

BRASIL, IBGE, Carta do Brasil -Escala 1:50000-SF -23-Y-D-VI-3(São Sebastião), 1969.

CAETANO, N. R. **Procedimentos metodológicos para o planejamento de obras e usos: uma abordagem geotécnica e geoambiental**, Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

CAMPANHA, G.A.C.; ENS, H. H. Estrutura geológica da região da Serra de Juqueriquerê, São Sebastião, **Boletim IG-USP**. Série Científica, 27: p. 41-49, 1996.

CAMPANHA, G.A.C.; ENS, H.H.; PONÇANO, W.L.; Análise morfotectônica do planalto do Juqueriquerê, São Sebastião, **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v.24, n.1, p.32-42, 1994.

CARDOSO, D. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião. **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu. CD-ROM. São José dos Campos : MCT-INPE e SELPER, 2001.

CRISÓSTOMO NETO, A. P. **Mapeamento Geoambiental por imagem de satélite do Vale do Paraíba. Dissertação** (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba-SP: Contribuição à Geomorfologia Litorânea Tropical**, Tese (Doutorado) FFCLH Geografia, USP. 1974.

CUNHA, C. M. L **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001, 128f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP, Rio Claro, 2001.

DAI, F.C.; LEE, C.F. *Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS*, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, v.42, n.3-4, p.213-228. 2001.

DE MARTONNE, E. Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, Nº 4, p. 3-27, 1943.

DELLA JUSTINA E. E. D. **Zoneamento geoambiental da reserva biológica do Jaru e zona de amortecimento, - RO, como subsídio ao seu plano de manejo**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

ESRI. **What is ArcGis?** - Manual. Disponível em www.esri.com. Acesso junho/2013. 2004.

FERNANDES FILHO, E. I.; FIRME SÁ, M. M Influência das variáveis do terreno na radiação solar. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 INPE, p. 5751-5753, abril 2007,.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa uma abordagem geológica-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Eds.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap.3, p.123-194, 2003.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA B. C.; MONTGOMERY, D. R., GREENBERG H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V.2, Nº 1 p. 51-71, 2001.

FIORI, A. P. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 43, p. 7-24, 1995.

FRANZONI, A.M.B. **Avaliação do meio físico para fins de planejamento geoambiental no traçado e manutenção de rede viária: Ilha de Santa Catarina**, Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

GARDA, G.M. **Os diques básicos e ultrabásicos da região entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia)-Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1995.

GOBBI, E. S. **Depósitos Gravitacionais, Marinhos e Fluviais e a Evolução Geomorfológica da Planície Sedimentar de Caraguatatuba-SP**, Dissertação (Mestre em Geografia, Análise Ambiental e Dinâmica Territorial) Unicamp, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009.

GUEDES I. C.; SANTONI G. C. 2; ETCHEBEHERE M. L. C.; STEVAUX J. C.; MORALES N.; SAAD A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da Bacia do Rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UNG – Geociências**. v.5, n.1, p. 75-102, 2006.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 1976. 48 p. (Relatório n. 1080).

GUIMARÃES, S. C. P **Zoneamento geoambiental como subsídio à aptidão agrícola das terras do município de Cujubim – RO**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

GUTBERLET, J. Zoneamento da Amazônia: uma visão crítica. Estudos Avançados, Universidade de São Paulo. **Revista do Instituto de Estudos Avançados**. 16(46), p. 157-174, 2002.

GUY, M Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: **Symposium International de Photo-Interpretation, 2, 1966, Paris. II Symposium International de Photo-Interpretation**: Acte, v.1, p.21-41.1966.

HASSUI, Y.; MIOTO J.A. **Geologia Estrutural Aplicada**. Coordenadores Yociteru Hasui e José Augusto Mito. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia: Votorantim, 1992.

HOEK, E.; BRAY, J. (1981). Rock Slope Engineering. London, Institution of Mining and Metallurgy, 309p.

IBGE Diretoria de Agropecuária, Superintendência de Recursos Naturais. **Termo de Referência para uma proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1986.

IBGE (Fundação IBGE) **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenadores: Nunes, B. de A; Ribeiro, M. I. C; Almeida, V. J. ; Natali Filho, T. Séries Manuais Técnicos em Geomorfologia, n. 5. Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 112 p. 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **O conhecimento técnico-científico voltado para instrumentos de planejamento de gestão ambiental, gerenciamento de bacias hidrográficas e zoneamento ambiental**, Brasília, 1994.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico) coord. Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Mapa Geológico do Estado de São Paulo** – Escala 1:500.000. São Paulo – SP. 1981.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**: 1:1.000.000. São Paulo: IPT, vol. II, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Mapeamento e proposta de plano de gerenciamento de áreas de risco de escorregamentos do município de Caraguatatuba, SP**, Parecer Técnico 18, p. 578-301, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, publicação 1991, 216 p.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T. Monitoreo de las actividades antrópicas para la evaluación de la capacidad de soporte del medio físico: diagnóstico y pronóstico. In: **Simpósio Latino Americano sobre risco geológico urbano**, n.2, 1992, Pereira-Colômbia. Anais. Pereira - Colômbia, 1992.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; PESSOTI, J. E. S.; MATTOS, J. T. Uso do sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região da Serra do Mar no Estado de São Paulo. In: **Simpósio Latino Americano e Percepção Remota**, IV., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER, tomo I, p.135-140. 1989a.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T.; MALAGUTTI FILHO, W. Estudos integrados para controlar os impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com vinhoto na região centro-leste do Estado de São Paulo. In: **Simpósio Latino Americano e Percepção Remota**, n.4, Bariloche – Argentina. Anais. Bariloche - Argentina: INPE/SELPER, 459-465. 1989b.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. **Estudo Geoambiental do Município de Franca-SP**. Relatório Final. Rio Claro, IGCE/UNESP, 2011.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. MATTOS, J.T; DAITX, E.C.; CAETANO, N.R. **Mapa Pedológico do gasoduto Bolívia-Brasil. Relatório Final.** Rio Claro, IGCE/UNESP, 2005.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; LANDIM, P.M.B.; MATTOS, J.T. Gerenciamento geoambiental. In: Tuk-Tornisielo, S.M.; Gobbi, N.; Foresti, C.; Lima, S.T. (orgs.) **Análise Ambiental: estratégias e ações.** São Paulo: T.A. Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf; Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, p. 327- 329, 1995.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica da folha São José Mipibu - RN. **Revista de Geociências**, São Paulo, v.12, n.2, p. 481-491, 1993.

JORGE, M.C.O. Z **Zoneamento Ambiental do município de Ubatuba-SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

JULIÃO, R. P. (Coord.) et al. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal.** Lisboa: Autoridade Nacional de Proteção Civil; Direção-geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Acesso em: 05 maios 2013.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes.** Londres: Arnold, 1998. 383p.

KOBIYAMA M. & et. al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

LIMA, M. M. **Zoneamento geoambiental do município e região de Franca-SP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro: 2009.

LISBOA, A. M. **Zoneamento geombiental aplicado ao planejamento da gestão ambiental e territorial do município de Colorado D'Oeste.** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. **Geologia Estrutural e introdução a geotectônica**. São Paulo: Editora Blucher. 1976, 528p.

MACEDO, E. S.; SANTORO, J.; ARAÚJO, R. E. Plano Preventivo da Defesa Civil (PPDC) para deslizamentos, estado de São Paulo, Brasil. In: **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1**. Anais. Florianópolis:UFSC. P.908-919, 2004.

MAFFRA, C.Q.T. **Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidencias de um regime transpressivo**. Dissertação (Mestrado em geoquímica e geotectônica)- Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2000.

MAGALHÃES, F. S., CELLA, P. R. C. Estruturas dos Maciços Rochosos. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 586p. 1998.

MARCELINO; E. M. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE - São José dos Campos, 2003.

MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. A Serra do Mar e seus estágios intempéricos avaliados por dados geopedoquímicos e de sensoriamento remoto. In: **Simpósio Latino Americano de Percepción Remota**,5, Cuzco: Selper, 1991.

MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; OHARA, T; MENDES, M.L. DE B.; SANTANA, M. A. Critérios para mapeamento de classes a erosão de solos em imagens TM-Landsat. In: **Simpósio Latino Americano de Percepción Remota**. Cochabamba: Selper, 2002.

MAZZOCATO, M. E. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao planejamento urbano da bacia do Rio Uma: município de São Sebastião, SP**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-INPE, São José dos Campos, 196 p., 1998.

MICHELIN, C. **Zoneamento geoambiental do assentamento Boa Sorte como subsídio ao planejamento de uso e ocupação do solo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro: 2005.

MMA-SAE Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Assuntos Estratégicos **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal.** Brasília, 1997.

MONTEIRO, C. A. A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo. **UNESP Rio Claro/CEAPLA**, (CD), 2000.

MORAES, F. T. **Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica.** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MORALES, N. **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplo da região sudeste do Brasil (sistematização crítica da produção científica).** Tese livre docência, Rio Claro, 2006, 201p.

MORINAGA, M.S. **Valoração de terras a partir de dados geoambientais: um projeto piloto em Cristais Paulista – SP,** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP. 2010. 141p

MOURA C.A., MATTOS J.T., JIMENEZ-RUEDA J.R. Zoneamento geoambiental como subsídio na determinação de áreas de instabilidade da faixa de dutos OSVAT/OSPLAN – São Sebastião/SP. **Revista Geociências.** Rio Claro, São Paulo. 30: 611-629, 2011.

MOURA C.A., MATTOS J.T., JIMENEZ-RUEDA J.R. Análise de fraturamentos para determinação de áreas instáveis na faixa de dutos Osvat/Osplan - São Sebastião, em São Paulo. **Rev. bras. geociênc.**, Set 2012, vol.42, no.3, p.585-596. 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421p

NOGUEIRA JUNIOR, J.; MARQUES A. S. L. **Linhas de Transmissão e Dutos** In: Oliveira, A. M. S.; Brito S. N. A. (Orgs.) Geologia de Engenharia - São Paulo: ABGE, p.475-497. 1998.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new Standards for old terms. **Geol. Soc. of Am. Bul.**, n. 87, p. 1463-1469, 1976.

OHARA, T. **Zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 225p. 1995.

OKIDA, R. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e inundações**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-INPE, São José dos Campos, 147 p., 1996.

OLIVEIRA, M. C. Construção de uma carta para determinação de orientação de vertentes. **Revista IG**, São Paulo, n°5(1/2), p.47-50, 1984.

PEDROSA, A. de S., PEREIRA, A. A integração das formações superficiais na modelação e cartografia do risco geomorfológico: caso da Serra do Marão. **Revista Sociedade e natureza**, Uberlândia, ano 23 n.3, p.529-544, 2011.

PETRI, S.; SUGUIO, K. Características granulométricas dos escorregamentos de Caraguatatuba, São Paulo, como subsídio para o estudo da sedimentação neocenoica do sudeste brasileiro. In: **Congresso Brasileiro de Geologia** (25). São Paulo-SP. p.71-82, 1971.

PUPIM, F. N. **Zoneamento geoambiental como subsídio a implantação e gestão de obras lineares quadrícula de São Carlos - SP, escala 1:100.000**. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro: 2007.

RIEDEL, P. S. **Condicionantes estruturais na estabilidade de taludes: Uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento**

remoto. Tese (doutorado) USP - São Carlos: Escola de Engenharia. 260 p. 1994.

RIVEREAU, J. C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. Curitiba: Inst. Geol. UFP, 93 p. 1969.

RIVEREAU, J.C. **Curso de fotointerpretação: notas de aulas. Série Didática**. Brasília, Departamento de Geociências. UNB, n. 4, 128 p. 1972.

RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra de Cubatão – SP**. 1992. 116p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Escola de Engenharia, USP, São Carlos, 1992.

RODRIGUES, R.M. **Estudo e caracterização do meio físico da bacia do Rio Camboriú/SC, visando zoneamento geoambiental**. 2000. 73 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: Cunha, S. B. & Guerra, A. T. (orgs). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1998.

SÃO PAULO - SigRH. Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo/ <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plu>. Acesso junho/2013.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA) Ortofotos Digitais. **Plano de Preservação da Mata Atlântica**. Instituto Florestal. São Paulo: 2000.

SANTOS, A. R. **A grande barreira da Serra do Mar- Da trilha dos Tupiniquins à Rodovia Imigrantes**. São Paulo: Ed. Nome da Rosa, 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA) **Macrozoneamento do litoral Norte - Plano de Gerenciamento Costeiro**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente (Série Documentos), 202 p. 1996.

SHARPE, C.F.S. (1938), *Landslides and related phenomena*. Columbia University press, New York.

SHIMBO, J. Z.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária. Estudo de caso: Assentamento Rural Pirituba II. **REVISTA NERA**, Presidente Prudente, Ano 10, n. 10:115-133, 2007.

SILVA, A.R.; MATTOS, J.T. Sensoriamento Remoto para Mapeamentos Geoambientais visando zonas favoráveis a pesquisa de recursos hídricos subterrâneos: Uma abordagem metodológica. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2007, p. 3585-3592.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Bol. Geogr.**, Rio de Janeiro, p. 35-59, jul./dez, 1978.

SOARES P.C.; et al. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na bacia do Paraná. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2, 1982, São José. Anais ..., v. 1, p.157-168.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografía, 3v, 1981.

SUGUIO, K. Ambientes de Sedimentação e fácies sedimentares. In: **Rochas Sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo–SP. Edgar Blücher. p. 305-389, 1980.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado+presente=futuro?)**. São Paulo: Comunicação e Artes Gráficas, 1999. 366 p.

TOMOYUKI, O.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS J. T.; CAETANO N. R. Zoneamento Ambiental da região do alto-médio Rio Paraíba do Sul e Carta de Aptidão Física para a implantação de obras viárias. **Revista Brasileira de Geociências** 33(2-Suplemento): 173-182, 2003.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs**.

Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VENEZIANI, P. **Fotogeologia com imagens orbitais - e definições fundamentais. Roteiro de estudos.** São José dos Campos: INPE, 1991.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.** São José dos Campos: INPE, 54p., 1982.

VILLOTA, H. El sistema CIAF de clasificacion fisiografica del terreno. **Revista CIAF**, Colômbia, v. 13, n°1 p. 55-70, 1992.

ZUQUETTE. L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE. L.V. **Uso e importância do mapeamento geotécnico na avaliação do meio físico.** Tese (Livre Docência) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

9. APÊNDICES

Apêndice 1 – Análise morfoestrutural

Mapa de Orientação de Mergulho das Camadas (A)

Mapa Morfoestrutural e Feições geológicas-estruturais Anômalas (B)

Apêndice 2 – Análise morfotectônica

Mapa de Traços de Juntas (A)

Mapa de Direções preferenciais dos Máximos 1 e 2 de traços de juntas (B)

Mapa de Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas e Trends (C)

Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e críticas (D)

Apêndice 3 – Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa

Apêndices 1, 2 e 3 (Final do Texto)

Apêndice 4 – Banco de dados

Quadro de atributos das Unidades Geoambientais elaborado no programa ArcMap 9.3.

Apêndice 4

Quadro de atributos das Unidades Geoambientais elaborado no programa ArcMap 9.3.

Bacias	Identificador	NOME(Zona, subzona, UG)	Cicatrizes Escorreg.	Orientação Vertente	Declividade	Densidade nascente	geologia	Compart. relevo	Permeabilidade	Tropia	Alterabilidade	Classificação
3	69	C1	11	Leste	20-45	>4,51	g	C	4	2	4	4,33
1	444	C10	0	Leste	8-20	0-1,5	g	C	3	1	4	3,08
5	453	C11	1	Norte	8-20	0-1,5	g	C	4	2	3	3,58
2	146	C12	1	Sul	8-20	0-1,5	g	C	4	2	4	4,00
2	135	C13	8	Sul	20-45	1,51-3,00	g	C	4	2	4	4,50
1	564	C14	8	Sul	20-45	1,51-3,00	g	C	4	2	4	4,50
2	61	C15	33	Sul	20-45	>4,51	g	C	3	3	2	4,58
1	202	C16	1	Sul	20-45	0-1,5	g	C	3	2	4	4,17
1	204	C17	0	Sul	8-20	0-1,5	g	C	2	2	4	3,67
1	176	C2	0	N/D	8-20	0-1,5	g	C	4	1	4	3,00
3	535	C3	2	Norte	20-45	>4,51	g	C	4	1	2	4,00
3	409	C4	3	Sul	8-20	0-1,5	g	C	4	1	3	3,75
4	143	C5	0	N/D	8-20	0-1,5	g	C	4	1	4	3,00
2	563	C6	0	N/D	8-20	0-1,5	g	C	4	1	4	3,00
4	144	C7	2	N/D	8-20	0-1,5	g	C	1	1	4	2,75
1	98	C8	0	N/D	8-20	0-1,5	g	C	4	1	4	3,00
5	2	C9	1	Sul	20-45	0-1,5	g	C	4	1	4	4,08
1	189	JI1	0	N/D	0-8	3,01-4,50	g	J	2	2	1	2,08
1	112	JI10	0	N/D	0-8	3,01-4,50	g	J	2	4	2	2,75
1	488	JI2	0	N/D	8-20	>4,51	g	J	2	2	2	2,75
1	95	JI3	0	N/D	8-20	3,01-4,50	g	J	2	2	2	2,92
1	120	JI4	0	N/D	0-8	3,01-4,50	g	J	3	3	2	2,67
1	424	JI5	0	Sul	8-20	3,01-4,50	g	J	2	3	2	3,58
1	16	JI6	0	N/D	8-20	1,51-3,00	g	J	3	4	2	3,08
1	115	JI7	0	Sul	0-8	3,01-4,50	g	J	2	4	1	3,33
1	134	JI8	0	N/D	8-20	3,01-4,50	g	J	2	4	2	3,08
1	507	JI9	0	N/D	8-20	3,01-4,50	g	J	2	4	2	3,08
1	132	JII1	0	N/D	8-20	3,01-4,50	G	J	2	2	2	2,58
1	133	JII2	0	N/D	0-8	>4,51	G	J	3	3	2	2,83
1	481	JII3	0	Norte	20-45	>4,51	G	J	3	3	2	4,33
1	421	JII4	0	Norte	20-45	3,01-4,50	G	J	2	3	2	4,00
1	475	JII5	0	Norte	8-20	>4,51	G	J	2	3	2	3,50
1	485	JII6	0	Sul	8-20	>4,51	G	J	2	3	2	4,08
1	40	JII7	0	Norte	20-45	3,01-4,50	G	J	2	3	2	4,00
1	11	JII8	0	N/D	0-8	>4,51	G	J	1	4	2	2,75
1	54	JIII1	0	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	J	3	2	3	4,08
1	49	JIII10	1	Norte	8-20	>4,51	GA	J	2	3	4	4,17
1	487	JIII11	0	N/D	0-8	3,01-4,50	GA	J	2	3	4	2,83

1	48	JIII12	0	Sul	20-45	3,01-4,50	GA	J	3	4	3	4,83
1	130	JIII13	0	N/D	0-8	>4,51	GA	J	2	3	4	3,00
1	196	JIII14	0	Sul	20-45	1,51-3,00	GA	J	2	4	2	4,33
1	549	JIII15	2	N/D	20-45	>4,51	GA	J	2	3	4	4,00
1	99	JIII2	0	Norte	8-20	>4,51	GA	J	3	2	3	3,92
1	100	JIII3	0	Sul	8-20	>4,51	GA	J	3	2	3	4,17
1	460	JIII4	0	Sul	20-45	3,01-4,50	GA	J	2	2	2	4,00
1	474	JIII5	0	N/D	8-20	3,01-4,50	GA	J	2	2	3	3,08
1	486	JIII6	2	N/D	8-20	>4,51	GA	J	3	3	4	3,83
1	548	JIII7	0	N/D	20-45	>4,51	GA	J	3	3	4	4,17
1	555	JIII8	0	N/D	8-20	>4,51	GA	J	3	3	4	3,83
1	407	JIII9	0	N/D	20-45	3,01-4,50	GA	J	2	3	3	3,67
1	6	JIV1	0	N/D	0-8	>4,51	GX	J	1	4	4	3,08
1	550	JIV2	0	N/D	8-20	>4,51	GX	J	1	3	3	3,33
1	551	JIV3	0	N/D	8-20	>4,51	GX	J	2	3	4	3,67
1	119	JV1	0	Sul	8-20	>4,51	3	J	4	3	3	4,58
1	121	JV2	0	N/D	0-8	>4,51	3	J	2	4	3	3,08
1	455	JV3	0	Norte	8-20	>4,51	3	J	2	3	3	3,67
1	477	JV4	0	N/D	0-8	3,01-4,50	3	J	2	3	3	2,67
1	20	LI1	0	Sul	8-20	3,01-4,50	2	L	1	4	1	3,83
1	76	LI10	0	Sul	20-45	>4,51	2	L	1	3	2	4,25
1	88	LI11	0	Sul	0-8	3,01-4,50	2	L	1	4	1	3,17
1	93	LI12	0	N/D	0-8	1,51-3,00	2	L	3	4	1	2,58
1	94	LI13	2	N/D	8-20	>4,51	2	L	3	3	1	3,33
1	96	LI14	0	Plano	0-8	3,01-4,50	2	L	2	3	1	2,33
1	105	LI15	0	Oeste	8-20	>4,51	2	L	2	2	2	3,33
1	114	LI16	0	Sul	20-45	>4,51	2	L	2	4	1	4,50
1	124	LI17	0	N/D	0-8	3,01-4,50	2	L	2	3	1	2,33
1	125	LI18	0	Plano	8-20	3,01-4,50	2	L	2	3	1	3,00
1	131	LI19	0	Sul	20-45	>4,51	2	L	3	3	1	4,42
1	25	LI2	0	Plano	0-8	3,01-4,50	2	L	4	3	1	2,67
1	188	LI20	0	Sul	20-45	>4,51	2	L	1	4	1	4,33
1	418	LI21	1	Sul	8-20	>4,51	2	L	3	4	1	4,33
1	419	LI22	0	Norte	0-8	>4,51	2	L	2	2	1	2,75
1	517	LI23	0	N/D	0-8	3,01-4,50	2	L	1	3	1	2,17
1	529	LI24	1	Sul	8-20	3,01-4,50	2	L	2	2	2	3,67
1	542	LI25	2	N/D	8-20	>4,51	2	L	2	3	1	3,17
1	543	LI26	2	N/D	8-20	>4,51	2	L	1	2	1	2,75
1	32	LI3	0	Sul	20-45	>4,51	2	L	1	4	1	4,33
1	33	LI4	0	Sul	20-45	3,01-4,50	2	L	1	4	2	4,33
1	34	LI5	0	Leste	8-20	3,01-4,50	2	L	1	2	2	3,00
1	36	LI6	0	N/D	0-8	>4,51	2	L	2	2	2	2,42
3	66	LI7	0	N/D	0-8	3,01-4,50	2	L	2	4	1	2,58
1	72	LI8	0	Sul	8-20	3,01-4,50	2	L	2	4	2	4,17
1	73	LI9	0	N/D	8-20	>4,51	2	L	1	4	2	3,42
3	63	LI1	0	N/D	0-8	1,51-3,00	g	L	2	3	1	2,17

3	404	LII10	10	Norte	8-20	3,01-4,50	g	L	4	3	4	4,33
5	567	LII11	10	Norte	8-20	3,01-4,50	g	L	4	3	4	4,33
3	435	LII12	0	Norte	8-20	3,01-4,50	g	L	2	2	1	3,25
3	447	LII13	0	Sul	8-20	3,01-4,50	g	L	2	3	1	3,75
3	451	LII14	0	Norte	8-20	3,01-4,50	g	L	2	2	1	3,25
5	64	LII2	0	N/D	8-20	3,01-4,50	g	L	4	4	1	2,92
5	65	LII3	1	Sul	8-20	3,01-4,50	g	L	4	3	1	3,75
3	68	LII4	0	N/D	8-20	>4,51	g	L	3	2	1	3,08
1	565	LII5	0	N/D	20-45	>4,51	g	L	3	2	1	3,42
3	92	LII6	2	Plano	0-8	3,01-4,50	g	L	4	3	3	3,00
5	566	LII7	2	Plano	8-20	3,01-4,50	g	L	4	3	3	4,00
5	103	LII8	0	Oeste	>45	3,01-4,50	g	L	4	3	1	3,25
3	136	LII9	0	Sul	20-45	0-1,5	g	L	3	4	2	4,33
1	116	M1	7	Leste	>45	3,01-4,50	2	M	2	2	4	3,17
1	75	M10	0	Oeste	20-45	>4,51	2	M	1	3	1	3,58
1	35	M11	0	N/D	8-20	3,01-4,50	2	M	1	3	2	3,00
1	471	M12	0	N/D	0-8	>4,51	2	M	1	3	2	2,50
1	476	M13	0	Sul	>45	>4,51	2	M	3	4	2	4,17
1	71	M14	0	Sul	20-45	>4,51	2	M	2	4	2	4,67
1	22	M15	2	Sul	>45	>4,51	2	M	1	4	1	3,67
1	492	M16	0	Sul	20-45	>4,51	2	M	1	4	1	4,33
1	23	M17	3	N/D	0-8	>4,51	2	M	1	4	2	2,75
1	24	M18	0	N/D	>45	>4,51	2	M	1	4	2	3,08
1	142	M19	1	Norte	>45	>4,51	2	M	1	4	2	3,58
1	117	M2	2	Sul	20-45	3,01-4,50	2	M	2	2	2	4,00
1	74	M20	1	Sul	8-20	>4,51	2	M	1	4	2	4,17
1	470	M21	0	Sul	8-20	>4,51	2	M	1	4	2	4,17
1	108	M22	1	Sul	20-45	>4,51	2	M	1	4	2	4,50
1	126	M3	0	N/D	>45	3,01-4,50	2	M	2	2	2	2,58
1	552	M4	1	Leste	20-45	>4,5	2	M	3	3	2	4,08
1	87	M5	0	Sul	8-20	3,01-4,50	2	M	2	3	2	3,92
1	97	M6	0	Norte	8-20	>4,51	2	M	2	3	2	3,83
1	472	M7	1	Norte	>45	3,01-4,50	2	M	2	3	2	3,33
1	137	M8	1	Norte	20-45	>4,51	2	M	2	3	2	4,17
1	425	M9	14	Sul	20-45	>4,51	2	M	2	3	2	4,42
1	145	SI1	0	Leste	20-45	3,01-4,50	2	S	3	2	2	3,67
1	27	SI2	0	Sul	20-45	3,01-4,50	2	S	3	2	2	4,17
1	41	SI3	8	Norte	20-45	>4,51	2	S	2	2	3	4,08
1	484	SI4	0	Norte	>45	3,01-4,50	2	S	2	3	2	3,33
1	28	SI5	0	Sul	20-45	>4,51	2	S	2	3	2	4,42
1	437	SI6	0	Leste	20-45	>4,51	2	S	1	3	2	3,75
1	43	SI7	1	Sul	20-45	>4,51	2	S	1	3	2	4,25
1	31	SI8	0	N/D	20-45	3,01-4,50	2	S	2	4	2	3,75
1	44	SI9	8	Sul	20-45	>4,51	2	S	1	4	1	4,33
1	37	SII1	0	Norte	8-20	1,51-3,00	3	S	4	1	3	3,50
1	39	SII10	2	Norte	20-45	3,01-4,50	3	S	2	3	4	4,33

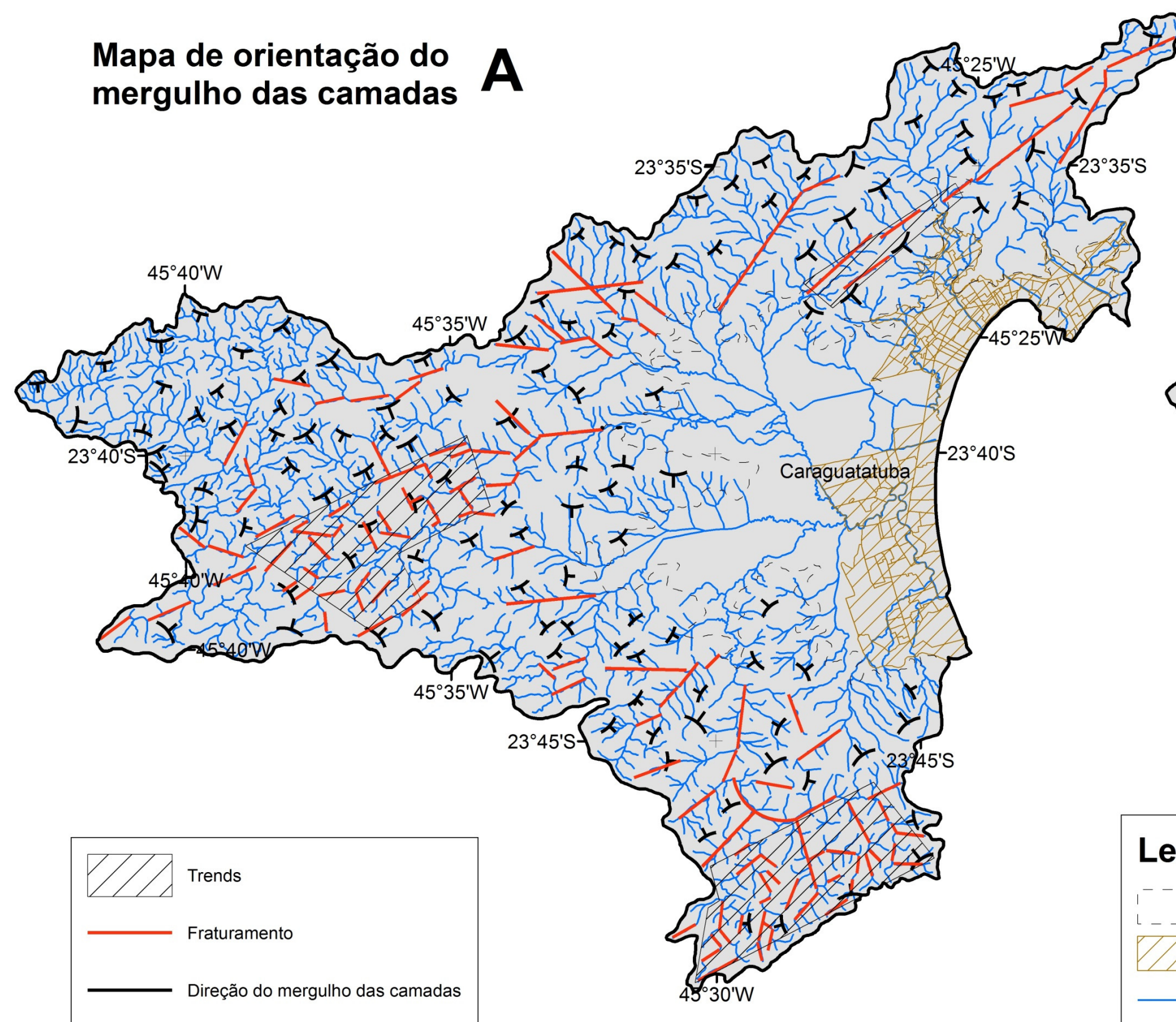
1	38	SII2	0	Sul	20-45	3,01-4,50	3	S	3	3	3	4,58
1	198	SII3	0	Leste	8-20	0-1,5	3	S	4	2	4	3,50
1	200	SII4	0	Norte	8-20	3,01-4,50	3	S	4	1	3	3,67
1	599	SII11	0	Norte	20-45	3,01-4,50	3	S	4	1	3	4,00
1	400	SII5	0	Norte	20-45	3,01-4,50	3	S	4	1	3	4,00
1	420	SII6	2	Norte	20-45	3,01-4,50	3	S	4	3	3	4,50
1	422	SII7	0	Oeste	20-45	3,01-4,50	3	S	4	3	4	4,42
1	423	SII8	0	Norte	20-45	3,01-4,50	3	S	4	2	2	4,08
1	456	SII9	0	Oeste	20-45	3,01-4,50	3	S	2	3	3	3,92
1	13	SIII1	7	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	3	4	4	4,83
1	46	SIII10	0	Sul	>45	3,01-4,50	g	S	1	3	1	3,25
1	51	SIII11	0	Sul	8-20	3,01-4,50	g	S	3	2	2	3,83
1	57	SIII12	1	Leste	>45	3,01-4,50	g	S	1	4	1	3,00
1	58	SIII13	13	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	2	3	2	4,00
1	59	SIII14	9	Norte	20-45	>4,51	g	S	3	2	3	4,25
3	62	SIII15	3	Oeste	8-20	1,51-3,00	g	S	2	2	2	3,00
5	67	SIII16	3	Norte	>45	1,51-3,00	g	S	4	3	3	3,67
1	77	SIII17	0	Sul	>45	1,51-3,00	g	S	2	4	1	3,50
1	78	SIII18	3	Sul	8-20	1,51-3,00	g	S	3	3	3	4,08
3	79	SIII19	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	3	4	2	4,50
1	14	SIII2	0	Sul	>45	3,01-4,50	g	S	2	4	1	3,67
3	81	SIII20	5	Oeste	20-45	0-1,5	g	S	2	2	4	3,50
4	84	SIII21	3	Plano	8-20	0-1,5	g	S	4	2	4	3,25
5	85	SIII22	6	Sul	>45	0-1,5	g	S	4	1	4	3,75
5	86	SIII23	7	Sul	>45	1,51-3,00	g	S	1	4	3	3,67
5	90	SIII24	9	Leste	20-45	3,01-4,50	g	S	2	3	4	4,08
3	91	SIII25	12	Sul	8-20	0-1,5	g	S	1	2	3	3,33
3	101	SIII26	13	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	2	3	2	3,83
1	106	SIII27	0	Sul	>45	3,01-4,50	g	S	1	3	2	3,42
1	107	SIII28	11	Sul	8-20	3,01-4,50	g	S	4	3	3	4,42
1	601	SIII29	11	Sul	8-20	3,01-4,50	g	S	4	3	3	4,42
1	15	SIII3	12	Sul	8-20	1,51-3,00	g	S	4	3	3	4,25
1	604	SIII30	12	Leste	8-20	3,01-4,50	g	S	4	3	3	3,92
1	109	SIII31	0	Norte	>45	1,51-3,00	g	S	3	2	2	3,08
1	110	SIII32	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	3	2	4,08
1	111	SIII33	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	4	2	4,33
1	118	SIII34	0	Sul	20-45	3,01-4,50	g	S	3	3	2	4,42
1	127	SIII35	0	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	3	2	3	3,92
4	597	SIII36	7	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	4	2	4	4,25
5	129	SIII37	1	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	3	2	3	4,17
1	138	SIII38	1	Plano	0-8	1,51-3,00	g	S	1	2	2	1,92
1	183	SIII39	0	Plano	8-20	0-1,5	g	S	4	2	3	3,08
1	18	SIII4	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	3	4	2	4,50
1	187	SIII40	1	Norte	8-20	0-1,5	g	S	3	1	3	3,17
1	208	SIII41	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	3	2	4,08
3	399	SIII42	0	Oeste	20-45	3,01-4,50	g	S	1	4	2	3,83

3	401	SIII43	10	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	2	2	4	3,92
3	405	SIII44	1	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	4	1	2	3,92
1	408	SIII45	0	Sul	8-20	1,51-3,00	g	S	3	3	3	4,08
5	411	SIII46	2	Leste	20-45	0-1,5	g	S	4	1	4	3,58
4	412	SIII47	4	Sul	20-45	0-1,5	g	S	4	1	4	4,08
5	413	SIII48	0	Oeste	8-20	3,01-4,50	g	S	1	3	3	3,42
5	414	SIII49	0	Sul	8-20	3,01-4,50	g	S	4	2	3	4,17
1	21	SIII5	1	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	4	3	3	4,33
1	415	SIII50	0	Sul	>45	1,51-3,00	g	S	2	2	2	3,17
1	431	SIII51	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	4	1	4,17
1	433	SIII52	0	Leste	20-45	1,51-3,00	g	S	2	2	1	3,17
1	434	SIII53	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	3	3	1	4,08
1	436	SIII54	1	Sul	8-20	1,51-3,00	g	S	4	3	3	4,25
1	605	SIII55	1	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	4	3	3	4,08
1	439	SIII56	0	Norte	20-45	3,01-4,50	g	S	2	2	3	3,92
1	440	SIII57	0	Sul	20-45	3,01-4,50	g	S	2	2	3	4,17
1	441	SIII58	4	Norte	20-45	1,51-3,00	g	S	2	2	3	3,75
1	442	SIII59	1	N/D	8-20	0-1,5	g	S	4	2	4	3,25
1	26	SIII6	1	Leste	20-45	>4,51	g	S	2	3	2	3,92
1	443	SIII60	0	Leste	8-20	1,51-3,00	g	S	2	2	3	3,17
3	445	SIII61	4	Oeste	>45	3,01-4,50	g	S	2	2	2	3,50
3	449	SIII62	6	Sul	>45	3,01-4,50	g	S	2	3	4	3,92
3	461	SIII63	3	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	4	2	3	4,33
3	462	SIII64	2	Leste	8-20	1,51-3,00	g	S	4	2	2	3,33
5	463	SIII65	1	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	4	2	3	4,33
1	483	SIII66	4	Norte	8-20	3,01-4,50	g	S	4	2	2	3,75
1	600	SIII67	4	Leste	20-45	3,01-4,50	g	S	4	2	2	3,83
1	490	SIII68	0	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	2	2	3,83
1	494	SIII69	0	Norte	8-20	1,51-3,00	g	S	4	2	4	3,92
1	29	SIII7	3	Norte	20-45	3,01-4,50	g	S	3	1	2	3,67
1	498	SIII70	0	Norte	>45	1,51-3,00	g	S	3	2	3	3,25
1	499	SIII71	1	Leste	20-45	3,01-4,50	g	S	2	4	1	3,83
1	503	SIII72	0	Norte	>45	0-1,5	g	S	3	2	2	2,92
1	518	SIII73	8	Norte	20-45	>4,51	g	S	1	3	3	4,17
1	519	SIII74	7	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	4	3	4	4,75
3	520	SIII75	2	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	2	4	2	4,33
3	521	SIII76	0	Leste	>45	1,51-3,00	g	S	2	3	2	2,92
5	531	SIII77	0	Sul	>45	3,01-4,50	g	S	2	2	3	3,83
5	532	SIII78	0	Sul	8-20	1,51-3,00	g	S	2	3	3	3,92
3	533	SIII79	1	Leste	20-45	1,51-3,00	g	S	1	2	2	3,17
1	30	SIII8	32	Sul	20-45	1,51-3,00	g	S	1	4	2	4,17
3	534	SIII80	2	Oeste	8-20	1,51-3,00	g	S	2	2	2	3,00
1	538	SIII81	3	Leste	20-45	>4,51	g	S	2	3	2	3,92
5	128	SIII82	7	Norte	8-20	1,51-3,00	g	S	4	2	4	3,92
1	45	SIII9	33	Sul	20-45	3,01-4,50	g	S	3	4	2	4,83
1	4	SIV1	0	Norte	20-45	1,51-3,00	GA	S	2	2	4	3,92

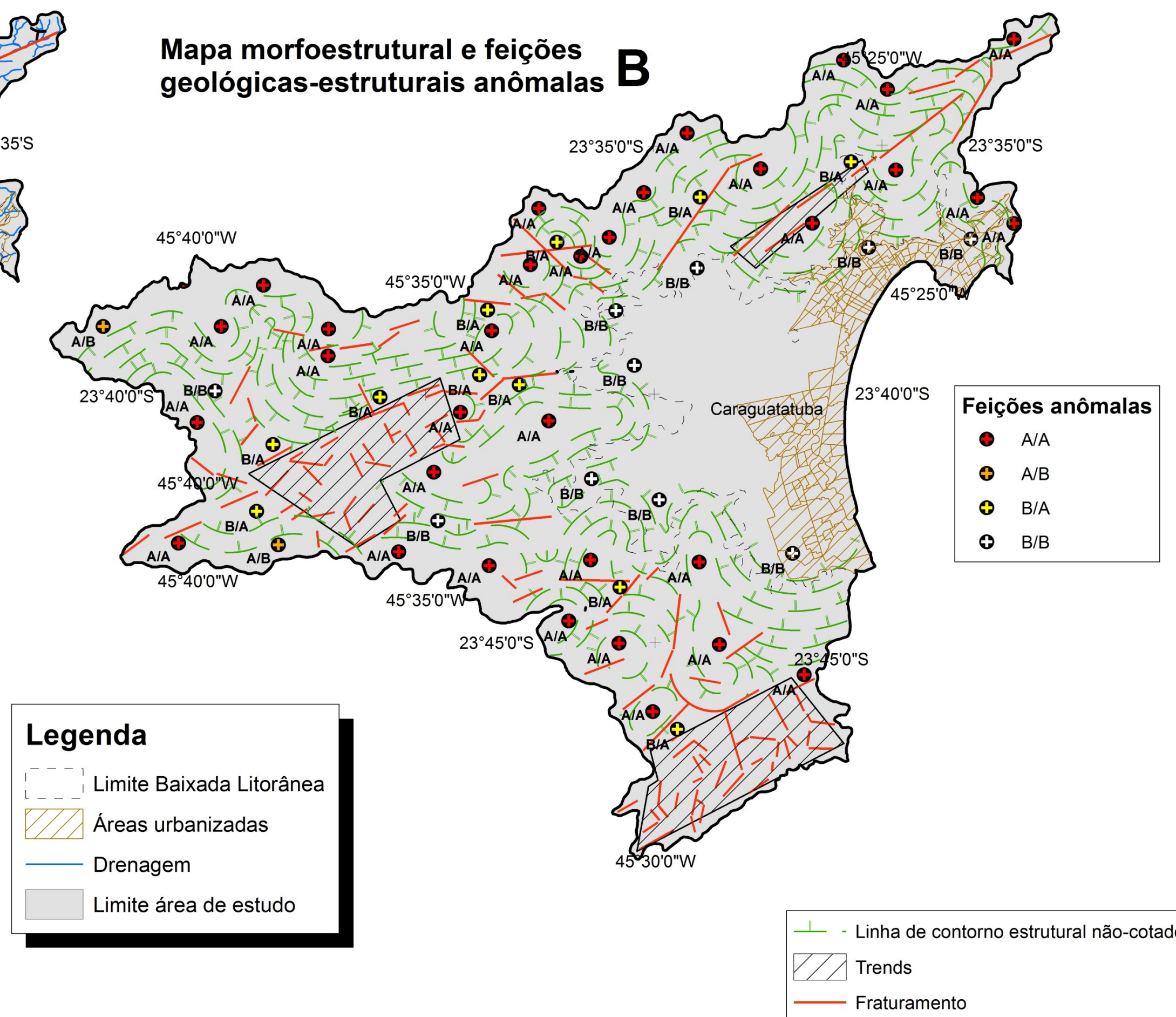
1	122	SIV10	0	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	S	1	2	3	3,75
1	123	SIV11	0	Leste	20-45	1,51-3,00	GA	S	3	2	3	3,67
1	139	SIV12	0	Leste	20-45	1,51-3,00	GA	S	2	4	2	3,83
1	141	SIV13	0	Norte	20-45	>4,51	GA	S	2	3	3	4,33
1	147	SIV14	11	Norte	20-45	1,51-3,00	GA	S	4	3	4	4,67
1	149	SIV15	2	Norte	20-45	1,51-3,00	GA	S	4	2	4	4,25
1	206	SIV16	1	Sul	20-45	>4,51	GA	S	1	3	3	4,42
1	207	SIV17	0	Norte	8-20	3,01-4,50	GA	S	2	2	3	3,58
1	459	SIV18	0	Norte	8-20	1,51-3,00	GA	S	4	2	3	3,75
1	465	SIV19	0	Norte	20-45	1,51-3,00	GA	S	2	2	3	3,75
1	5	SIV2	0	Norte	20-45	1,51-3,00	GA	S	2	2	4	3,92
1	466	SIV20	0	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	S	4	2	4	4,42
1	467	SIV21	5	Leste	20-45	>4,51	GA	S	3	2	4	4,17
1	468	SIV22	0	Sul	20-45	3,01-4,50	GA	S	4	2	4	4,67
1	598	SIV23	0	Leste	0-8	1,51-3,00	GA	S	4	3	4	3,42
1	7	SIV3	0	Sul	20-45	>4,51	GA	S	1	2	4	4,33
1	9	SIV4	1	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	S	1	2	4	3,92
1	10	SIV5	0	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	S	2	4	2	4,25
1	47	SIV6	0	Norte	20-45	3,01-4,50	GA	S	3	4	2	4,42
1	53	SIV7	0	Sul	20-45	3,01-4,50	GA	S	2	2	3	4,17
1	55	SIV8	2	Oeste	20-45	>4,51	GA	S	4	3	3	4,42
1	83	SIV9	0	Norte	20-45	>4,51	GA	S	2	3	3	4,33

Apêndices 1, 2 e 3

Mapa de orientação do mergulho das camadas **A**

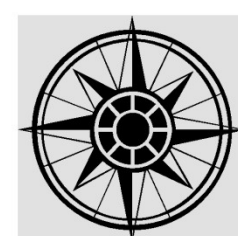


Mapa morfoestrutural e feições geológicas-estruturais anômalas **B**



Legenda

- Limite Baixada Litorânea
- Áreas urbanizadas
- Drenagem
- Limite área de estudo

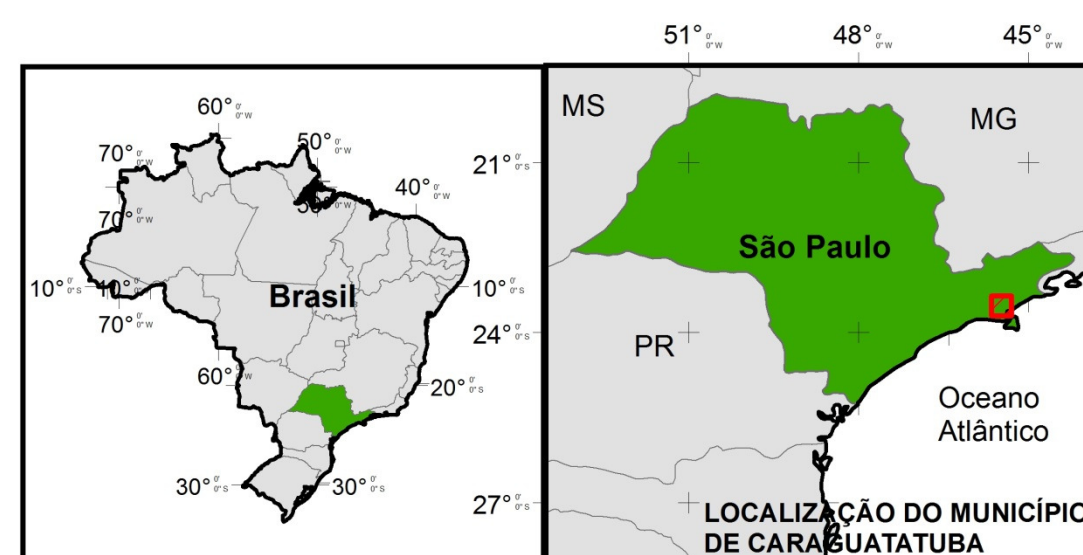


Escala: 1:150.000

ESCALA GRÁFICA:



Fonte de dados cartográficos, planimétricos e para georreferenciamento: Base cartográfica IBGE, Cartas Topográficas escala 1:50.000 e do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação e Elaboração de cartas SAO: Litoral Paulista. Imagens de satélite: Catálogo do INPE, Imagens Landsat 7- Sensor ETM, órbita/ponto 218/076. Data: 14/08/2006



unesp

UNESP - Rio Claro
Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente

Título: Análise da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa por meio de sistematização de zoneamento geoambiental

Folha:
01/03

Mapa de orientação de mergulho das camadas (A)
Mapa morfoestrutural e feições geológicas-estruturais anômalas (B)

Título mapa:

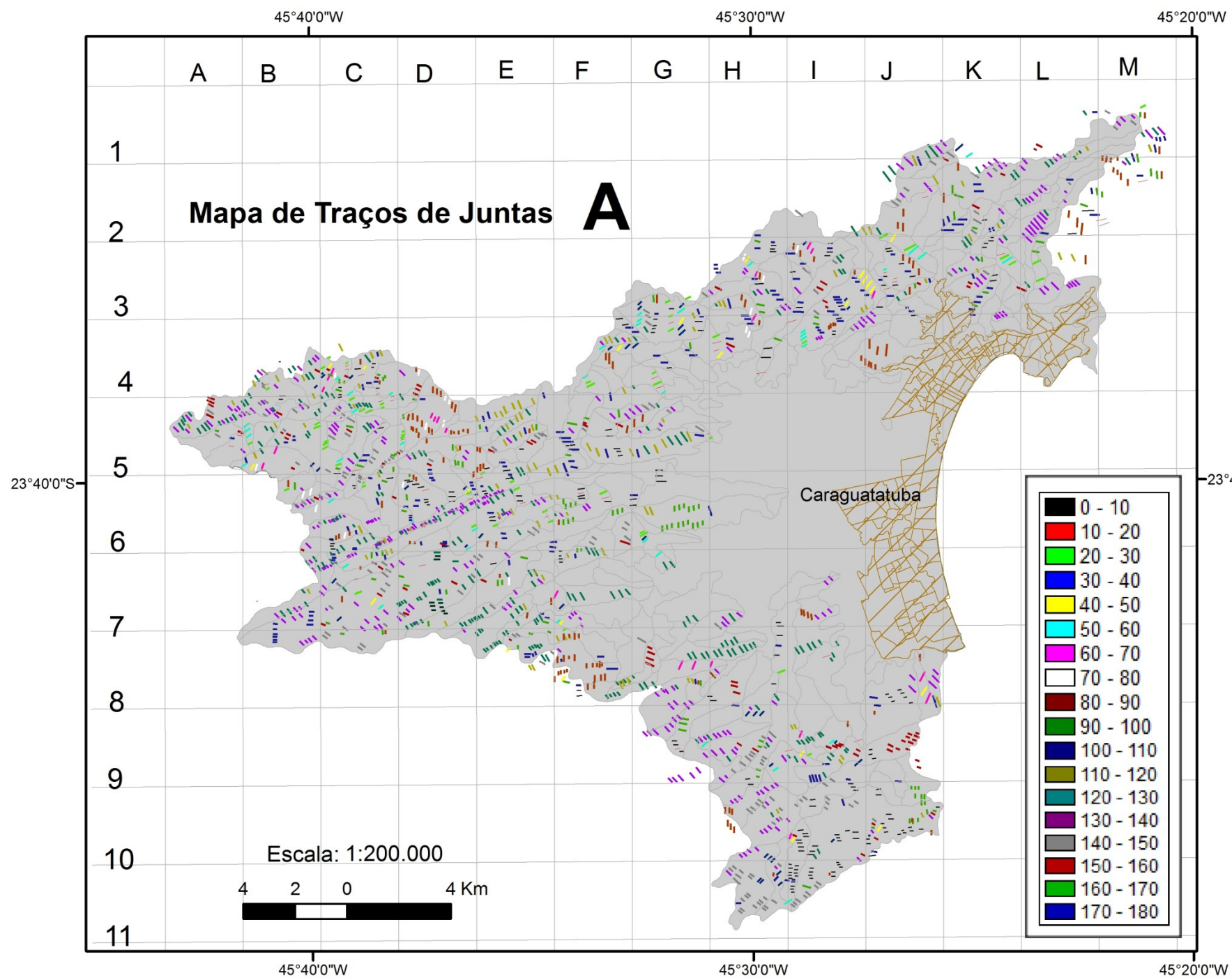
Apêndice:
01

Data: 04/2014

Datum: SAD69 Projeção: UTM Fuso 23.

Escala: 1:150.000

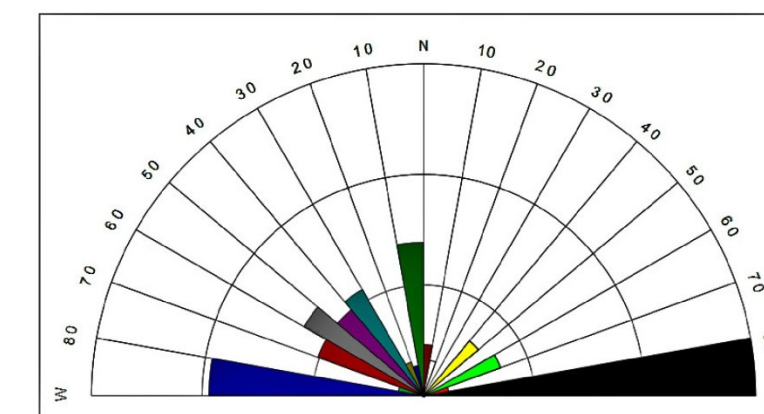
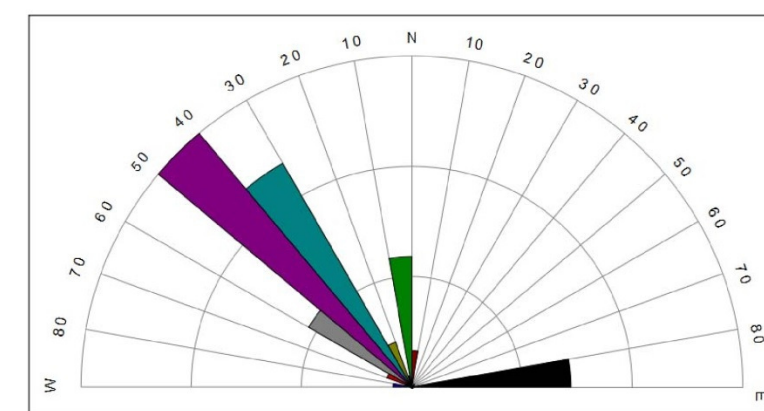
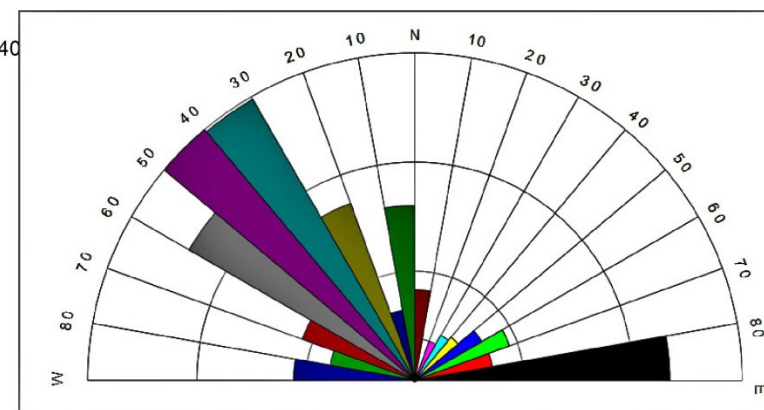
Elaborado: CAM



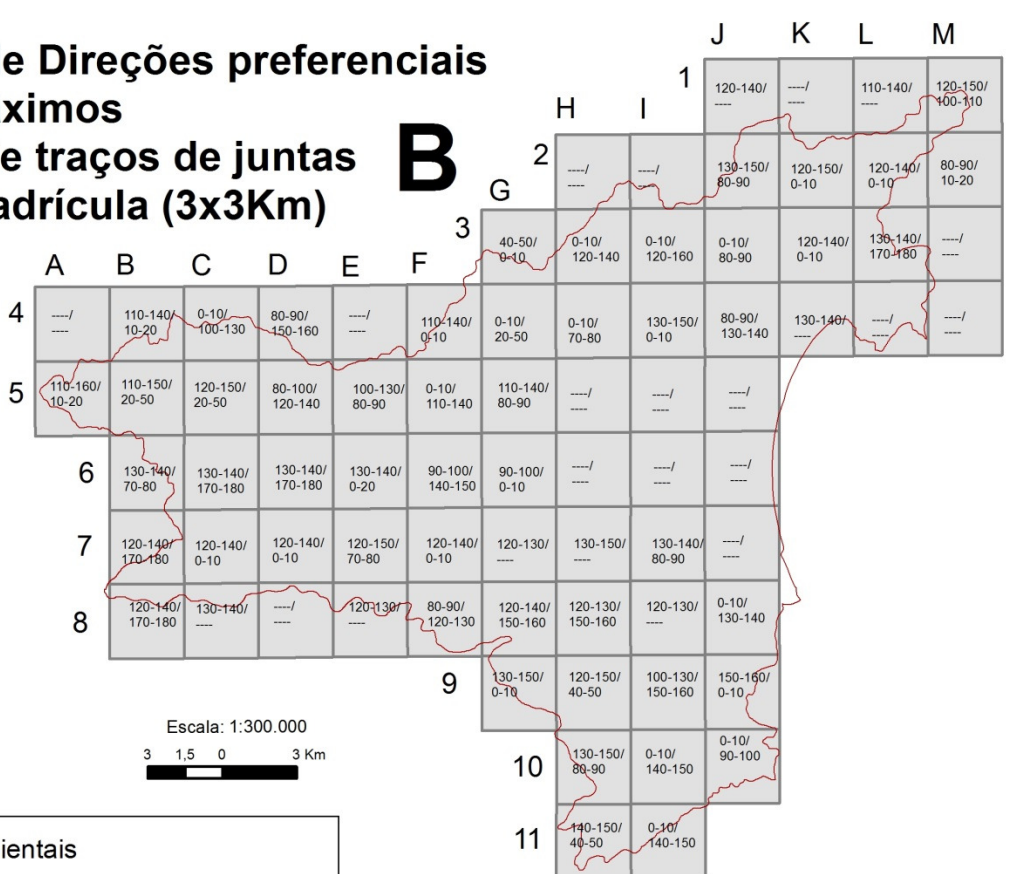
Legenda

- Unidades Geoambientais
- Área urbana
- limite área de estudo

DIAGRAMA DE ROSETAS-FREQUÊNCIA ABSOLUTA

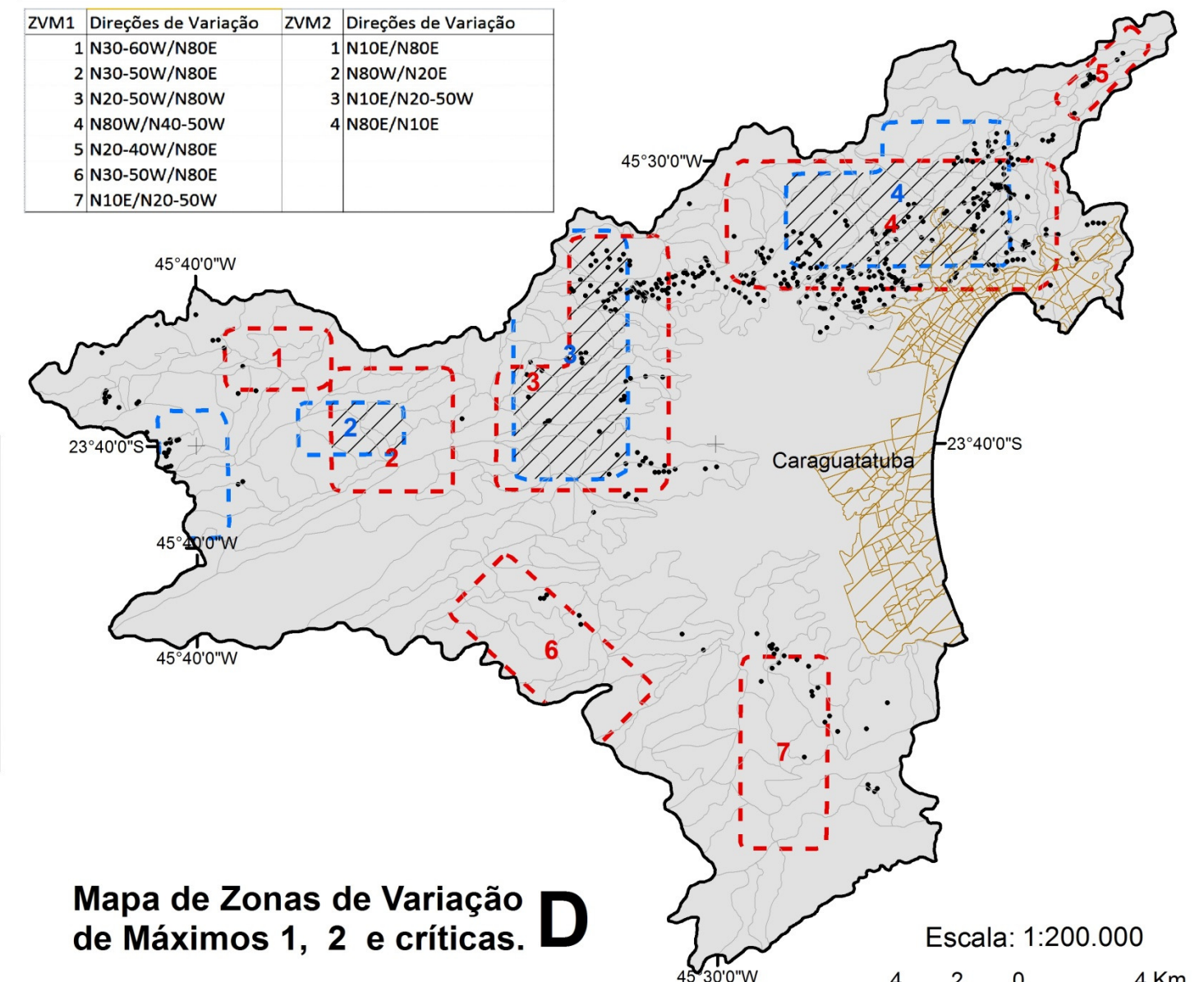


Mapa de Direções preferenciais dos Máximos 1 e 2 de traços de juntas por quadrícula (3x3Km)



- Unidades Geoambientais
- Zona de Variação de Máximos 1
- Zona de Variação de Máximos 2
- Zonas de Variação de Máximos 1 e 2(Críticas)
- Cicatrizes de escorregamentos

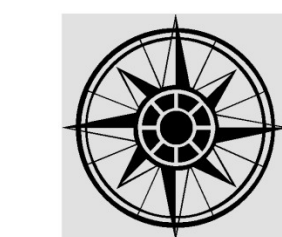
ZVM1	Direções de Variação	ZVM2	Direções de Variação
1	N30-60W/N80E	1	N10E/N80E
2	N30-50W/N80E	2	N80W/N20E
3	N20-50W/N80W	3	N10E/N20-50W
4	N80W/N40-50W	4	N80E/N10E
5	N20-40W/N80E		
6	N30-50W/N80E		
7	N10E/N20-50W		



Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e críticas. D

Mapa de Máximos 1 e 2 de traços de juntas e trends C

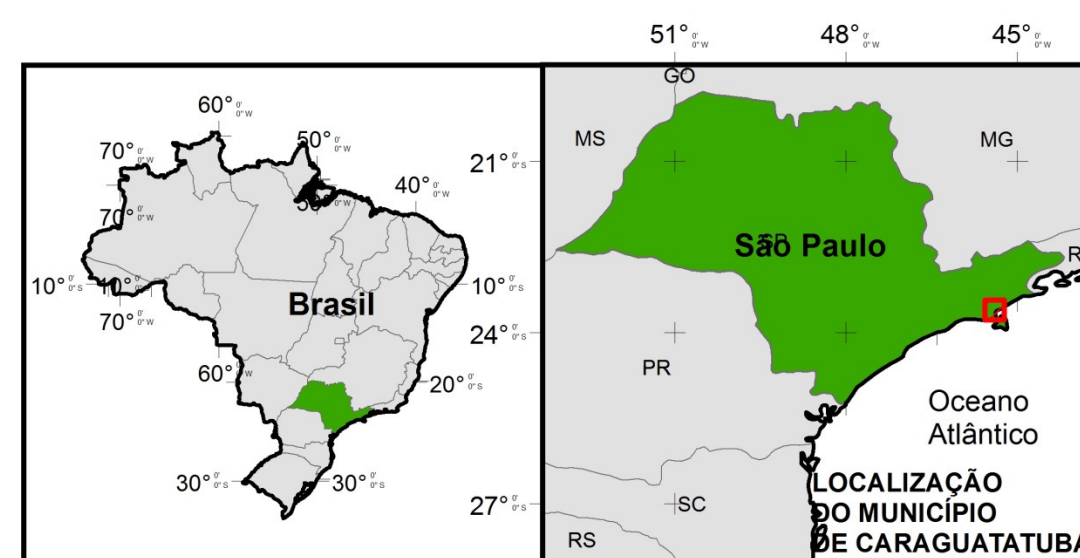
- Trends
- Traços de Juntas de Máximos 1
- Traços de Juntas de Máximos 2



Fonte de dados cartográficos, planimétricos e para georreferenciamento: Base cartográfica IBGE, Cartas Topográficas escala 1:50.000 e do projeto Conceção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação e Elaboração de cartas SAO: Litoral Paulista. Imagens de satélite: Catálogo do INPE, Imagens Landsat 7- Sensor ETM,órbita/ponto 218/076. Data: 14/08/2006.

Escala: 1:200.000

4 2 0 4 Km



unesp

UNESP - Rio Claro
Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente

Título: Análise da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa por meio de sistematização de zoneamento geoambiental

Folha:

02/03

Mapa de Traços de Juntas(A)
Mapa de Máximos 1 e 2 de traços de juntas e trends(C)
Mapa de Direções preferenciais dos Máximos 1 e 2 de traços de juntas (B)
Mapa de Zonas de Variação de Máximos 1, 2 e críticas(D)

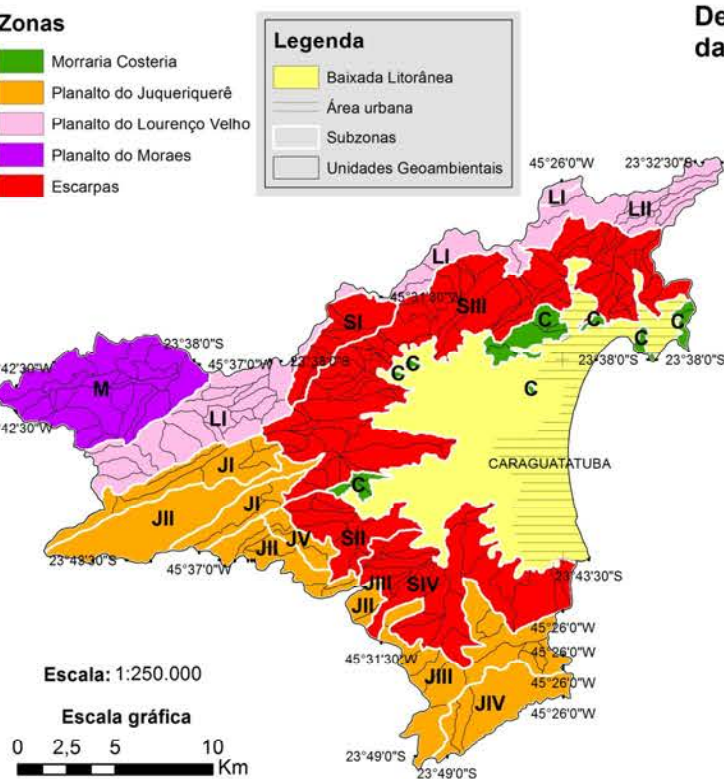
Apêndice: 02

Data: 04/2014 Datum: SAD69 Projeção:UTM Fuso 23. Escala: 1:300.000 Elaborado: CAM

Suscetibilidade do Meio Físico à Movimentos gravitacionais de massa				
Baixa	Apresenta baixa tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades geoambientais exigem monitoramento e manutenção mínima para ocupação.			
Moderada	Estas unidades geoambientais exibem moderada tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos, exigem moderado monitoramento e mínima intervenção estrutural para erradicação de riscos.			
Alta	Apresenta alta tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades geoambientais exigem constante monitoramento e grandes intervenções estruturais para diminuição ou erradicação de riscos na ocupação.			
Muito Alta	Nestas unidades não é recomendada a ocupação sem estudos prévios para a redução ou erradicação dos riscos. Apresenta muito alta tendência a processos geodinâmicos superficiais como movimentos gravitacionais e processos erosivos. Estas unidades exigem monitoramento de campo constante, principalmente durante os períodos críticos de pluviosidade.			
Análise Morfoestrutural - Feições Anômalas				
As áreas próximas às feições anômalas devem receber monitoramento e estudos prévios para a redução ou erradicação de riscos inerentes a intervenções antrópicas. Processos erosivos, movimentos gravitacionais e processos de alteração intemperísticas locais podem ser acelerados pelas intervenções estruturais na instalação de obras, ocasionando problemas geotécnicos.				
	A/A	A/B	B/A	B/B
Intemperismo	Intemperismo muito forte	Intemperismo forte	Intemperismo moderado/forte	Intemperismo fraco
Relação Pedogênese x Morfogênese	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese
Tipo dos Sistemas	Abertos	Semibertos	Semifechados	Fechados
Circulação de água	Alta (Afloramento do lençol)	Média a alta	Restrita	Alta e direcionada (Áreas de alagamentos)
Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa	Muito Alta	Moderada	Alta	Baixa a nula
Zonas de Variação de Máximos (ZVM) 1 e 2 de Traços de Juntas				
Estas zonas são consideradas como de grande instabilidade pois sofreram ou sofrem forte influência deformacional nupila, de compressão ou decompressão. Essas áreas devem ser analisadas com atenção especial ao fluxo d'água subterrâneo orientado que pode levar ao desencadeamento de processos de alteração do material, erosão inicialmente concentrada podendo evoluir para erosão laminar e movimentos de massa gravitacionais.				
ZVM 1	ZVM 2		ZVM 1 e 2 (Zonas críticas)	
Áreas muito instáveis submetidas a pelo menos duas direções de esforços.	Áreas instáveis submetidas a pelo menos duas direções de esforços.		Áreas muito instáveis, pois estão submetidas a pelo menos quatro direções de esforços.	

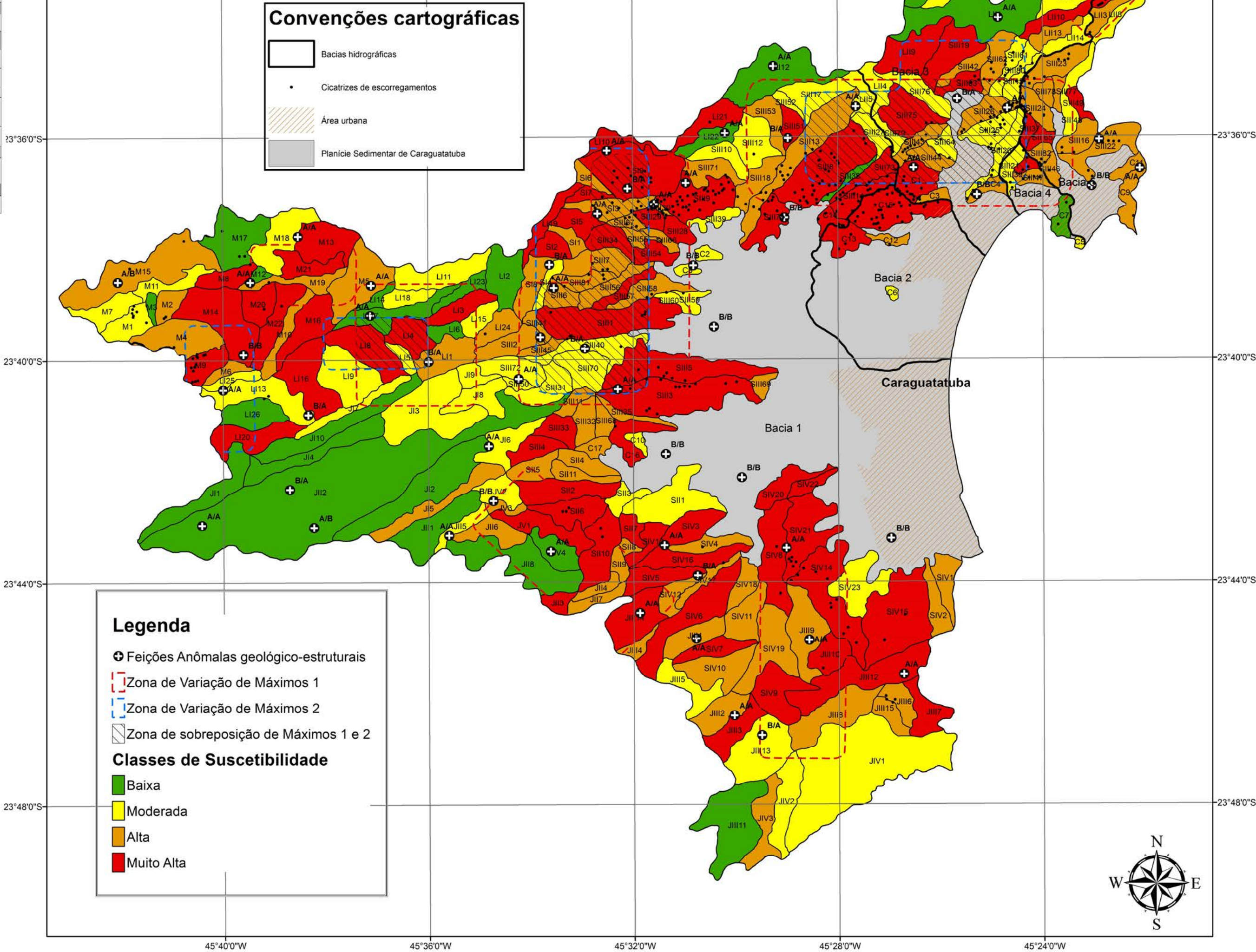
UG	Classes	Valor	UG	Classes	Valor	UG	Classes	Valor	UG	Classes	Valor	UG	Classes	Valor
C1	442244	4,33	JIII14	224442	4,33	LI114	122333	3,25	SI15	343342	4,33	SI154	343432	4,25
C2	441131	3	JIII15	423144	4	M1	422223	3,17	SI16	223244	3,92	SI155	343242	4,08
C3	241344	4	JIV1	414114	3,08	M2	222243	3,17	SI17	231343	3,67	SI156	322343	3,92
C4	341432	3,7	JIV2	313134	3,33	M2	222443	4	SI18	214442	4,17	SI157	322443	4,17
C5	441131	3	JIV3	423134	3,67	M3	222123	2,58	SI19	234444	4,83	SI158	322342	3,75
C6	441131	3	JV1	343434	4,58	M4	232444	4,08	SI10	113423	3,25	SI159	442131	3,25
C7	411231	2,75	JV2	324114	3,08	M5	223433	3,92	SI11	232433	3,83	SI160	322232	3,17
C8	441131	3	JV3	323324	3,67	M6	223334	3,83	SI12	114223	3	SI161	222243	3,5
C9	441441	4,08	JV4	323113	2,67	M7	223233	3,33	SI13	223343	4	SI162	423423	3,92
C10	431231	3,08	LI1	114433	3,83	M8	223444	4,17	SI14	332344	4,25	SI163	342442	4,33
C11	342331	3,58	LI2	114333	3,83	M9	223444	4,42	SI15	222232	3	SI164	242232	3,33
C12	442431	4	LI3	143113	2,67	M10	113244	3,58	SI16	343322	3,67	SI165	342442	4,33
C13	442442	4,5	LI4	144444	4,33	M11	213133	3	SI17	124422	3,5	SI166	242333	3,75
C14	442442	4,5	LI5	214443	4,33	M12	213114	2,5	SI18	933432	4,08	SI167	242243	3,88
C15	233444	4,58	LI6	212233	3	M13	234424	4,17	SI19	234442	4,5	SI168	222442	3,83
C16	432441	4,17	LI7	222114	2,42	M14	224444	4,67	SI20	422241	3,5	SI169	442332	3,92
C17	422431	3,67	LI8	124113	2,58	M15	114424	3,67	SI21	442131	3,25	SI170	332322	3,25
J1	122113	2,08	LI9	224433	4,17	M16	114444	4,33	SI22	441431	3,75	SI171	124243	3,83
J2	222124	2,75	LI10	213444	4,25	M17	214114	2,75	SI23	314422	3,67	SI172	232321	2,92
J3	222133	2,92	LI11	114413	3,17	M18	214324	3,58	SI24	423243	4,08	SI173	313344	4,17
J4	233113	2,67	LI12	134112	2,58	M19	214434	4,17	SI25	312431	3,33	SI174	443442	4,75
J5	232423	3,58	LI13	133134	3,33	M20	214434	4,17	SI26	223342	3,83	SI175	224442	4,33
J6	234122	3,08	LI14	123113	2,33	M21	214434	4,17	SI27	213423	3,42	SI176	223222	2,92
J7	124413	3,33	LI15	222234	3,33	M22	214444	4,5	SI28	343433	4,42	SI177	322433	3,83
J8	241223	3,08	LI16	124444	4,5	SI1	232243	3,67	SI29	343433	4,42	SI178	323432	3,92
J9	241223	3,08	LI17	123113	2,33	SI2	232443	4,17	SI30	343233	3,52	SI179	212242	3,17
J10	224113	2,75	LI18	123133	3	SI3	322344	4,08	SI31	232322	3,08	SI180	222232	3
J11	222123	2,58	LI19	133444	4,42	SI4	223323	3,33	SI32	223442	4,08	SI181	223244	3,92
J12	233114	2,83	LI20	114444	4,33	SI5	223444	4,42	SI33	224442	4,33	SI182	442332	3,92
J13	233444	4,33	LI21	194434	4,33	SI6	213244	3,75	SI34	323443	4,42	SI183	322442	4,17
J14	223443	4	LI22	122314	2,75	SI7	213444	4,25	SI35	323442	3,92	SI184	442342	4,25
J15	223244	3,5	LI23	115113	2,17	SI8	224433	3,75	SI36	442342	4,17	SI185	332442	4,17
J16	223434	4,08	LI24	223433	3,67	SI9	114444	4,33	SI37	212112	1,92	SI186	212112	1,92
J17	223434	4	LI25	123134	3,17	SI10	341332	3,5	SI38	342131	3,08	SI187	342131	3,08
J18	214114	2,75	LI26	112134	2,75	SI11	333443	4,58	SI39	331331	3,17	SI188	331331	3,17
J19	332343	4,08	LI1	123112	2,17	SI12	442231	3,5	SI40	223442	4,08	SI189	223442	4,08
J20	332334	3,92	LI2	144113	2,92	SI13	341333	3,67	SI41	214243	3,83	SI190	214243	3,83
J21	332434	4,17	LI3	143423	3,75	SI14	341343	4	SI42	422342	3,92	SI191	422342	3,92
J22	222443	4	LI4	132134	3,08	SI15	343343	4,5	SI43	241442	3,92	SI192	241442	3,92
J23	322133	3,08	LI5	132144	3,42	SI16	443243	4,42	SI44	333432	4,08	SI193	333432	4,08
J24	433134	3,83	LI6	343113	3	SI17	242343	4,08	SI45	441241	3,58	SI194	441241	3,58
J25	433144	4,17	LI7	343143	4	SI18	323243	3,92	SI46	441441	4,08	SI195	441441	4,08
J26	433134	3,83	LI8	143223	3,25	SI19	423343	4,33	SI47	313233	3,42	SI196	313233	3,42
J27	323143	3,67	LI9	234441	4,33	SI20	341343	4	SI48	342433	4,17	SI197	342433	4,17
J28	423334	4,17	LI10	443333	4,33	SI21	434442	4,83	SI49	222422	3,17	SI198	222422	3,17
J29	423113	2,83	LI11	443333	4,33	SI22	124423	3,67	SI50	124442	4,17	SI199	124442	4,17
J30	334443	4,83	LI12	122333	3,25	SI23	343432	4,25	SI51	122242	3,17	SI200	122242	3,17
J31	423114	3	LI13	123433	3,75	SI24	244442	4,5	SI52	133442	4,08	SI201	133442	4,08

Detalhe da Classificação das UG		
Nome	Classes	Valor
Alterabilidade	C1	442244
Permeabilidade		4,33
Troça		
Orientação de Vertentes		
Declividade		
Densidade de Nascentes		
Suscetibilidade		



Zonas-Compartimentos do Relevo	Seloneiros-Compartimentos geológicos	Unidades Geoambientais
Morraria Costeira(C)	C	C1 a C17
Escarpos(S)	SI	SI1 a SI9
	SIH	SIH1 a SIH11
	SIH	SIH11 a SIH23
	SIV	SIV1 a SIV23
Planalto do Lourenço Velho(L)	LI	LI1 a LI26
	LIH	LIH1 a LIH14
Planalto do Juqueriquerê	J	J1 a J10
	JH	JH1 a JH8
	JH	JH11 a JH15
	JV	JV1 a JV3
	JV	JV1 a JV4
Planalto do Moraes	M	M1 a M22
Total (5 Zonas)	13 subzonas	244 UG

Mapa de suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa



 UNESP - Rio Claro	
Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente	
Título tese:	Análise da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa por meio de sistematização de zoneamento geoambiental
Mapa de suscetibilidades do meio físico a movimentos gravitacionais de massa	
03/03	
Folha:	
03	
Título mapa:	Apêndice:
maio/2014	SAD69 Projeção:UTM Fuso 23.
Data:	Datum:
1:150000/1:75000	Escala:
Moura, C. A.	Elaborado: