

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS E AS IMPLICAÇÕES DA
EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARATY, RJ,
ENTRE 1973 E 2008

ORJANA CARVALHO ALCANTARA SILVA

ORIENTADOR: TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

SÃO PAULO
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS E AS IMPLICAÇÕES DA
EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARATY, RJ,
ENTRE 1973 E 2008

ORJANA CARVALHO ALCANTARA SILVA

ORIENTADOR: TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

SÃO PAULO
2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Silva, Orjana Carvalho Alcantara

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS E DA EVOLUÇÃO DO
USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARATY – RJ

/ Orjana Carvalho Alcantara Silva– São Paulo, 2009.

Ix, 151 fls. + anexo.

=

Dissertação (Mestrado) : IGC/USP – 07.06.2004

Orient. : Almeida, Teodoro Isnard Rebeiro de

1. Suscetibilidade a escorregamentos 2. Uso e cobertura do solo 3. Paraty 4. Brasil:
Região Sudeste: Geotecnia.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS E DAS IMPLICAÇÕES
DA EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARATY, RJ,
ENTRE 1973 E 2008

ORJANA CARVALHO ALCANTARA SILVA

ORIENTADOR: TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA

Examinadores: Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

SÃO PAULO
2010

Autorizo a reprodução total e/ou parcial deste trabalho, desde que citada a fonte.

São Paulo, 15 de dezembro de 2009.

Orjana Carvalho Alcantara Silva

Endereço para contato: Rua Jorge Rudge nº 59 apt 101 fundos – Vila Isabel – Rio de Janeiro -
RJ. CEP 20550-220
orjanac@hotmail.com

O homem é um ser que "reage sobre a natureza, transformando-a e criando para si novas condições de existência...o homem a submete, pondo-a a serviço de seus fins determinados, imprimindo-lhe as modificações que julga necessárias, isto é, domina a natureza...a cada uma dessas vitórias, ela exerce sua vingança...todo o nosso domínio sobre ela consiste na vantagem que temos sobre os demais seres de poder chegar a conhecer suas leis e aplicá-las corretamente".

Engels (1991)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Ao meu marido Barto por ser tão importante para mim e ter me apoiado o tempo todo. Além de agüentar firme as minhas paranóias e crises existenciais. E também por me mostrar que o caminho a minha frente sempre será tão promissor quanto assim eu o fizer.

Ao meu pai e meu irmão que sempre estiveram presentes mesmo distantes e que sem vocês minha vida não seria possível.

Ao meu orientador e acima de tudo professor Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida por existir. Por ter me dado uma oportunidade quando não me conhecia e por ter confiado em mim. Por ter me ensinado coisas que irei levar para o resto de minha vida profissional.

Aos meus amigos da USP, Fabrício, Sidney e Antônio que nunca serão esquecidos e que um dia serão recompensados por todas as vezes que me deram a mão e o braço nos meus problemas de peopleware. Por terem me ajudado mesmo quando estavam atolados de trabalho.

As minhas grandes amigas Livia, Cláudia e Gleise por sempre terem palavras de incentivo e darem um toque de diversão em tudo o que fazem. Pelas vezes que eu senti falta de vocês e vocês não me faltaram. Aos meus diversos amigos Cami, Giuliano, Flavinha, Marquinhos, Zeca, Paulinha, Hipólito e outros muitos que sempre que vou ao Rio tiram um tempinho para me ver e beber comigo mesmo que em uma segunda-feira de chuva.

Ao professor Marcelo Rocha por toda a sabedoria passada e por todas as conversas edificantes. E por ter me deixado usar o LIG, claro.

Ao latifundiário e possuidor de vastas terras de frente para o mar Marcelo “Dadinho” por seus conselhos ZEN e pelas histórias “completas”, hilárias e às vezes sem pé nem cabeça.

Aos responsáveis pelo LIG por criarem e manterem um laboratório tão completo e aberto.

A Deborah por ter me ajudado na minha chegada e ter me atendido por e-mail todas as vezes que não lembrava que número deveria por no bad values.

Ao pessoal e a instituição IBAMA da APA Cairuçu, à Graziela, Marcelo e Ney pelo apoio incondicional sem o qual esse trabalho não teria a quantidade e qualidade de dados que ele possui. Por me proporcionarem o primeiro de muitos vôos.

Ao IPT e seus pesquisadores Alessandra Cristina, Agostinho Ogura e Marcelo Gramani por terem me esclarecido dúvidas, me acompanharem em campo e por cederem seu tempo e conhecimento para a confecção da minha dissertação.

Ao professor Beto, que teve grande importância na minha dissertação, tirando dúvidas indiretamente e cedendo dados importantes.

A professora Rose da UNICAMP por ter me cedido seu tempo, conhecimento, dados e bibliografia.

Ao Coi pelo apoio com as foto aéreas.

A NASA, ao INPE, ao Glocf que sem essas instituições minha dissertação não seria sequer possível. Ao Envi, ARCGIS, IDRISI e ERMAPPER por terem me dado a oportunidade de conhecer um mundo novo e cheio de possibilidades.

A defesa civil de Paraty pelos dados de pluviosidade e apoio.

Ao Instituto de geociências USP, sem ele nada seria possível.

Aos meus professores durante o mestrado, professor Teodoro, Arlei, Witold, Giana, Marcelo, Sidney e Colangelo por todos os importantes ensinamentos passados.

A Capes pela bolsa de mestrado e apoio a campo e congresso. A monitoria PAE que me mostrou que ser professor não é nada fácil.

Ana Paula, Magali e Tadeu que sempre tiraram minhas dúvidas de papelada e preenchimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DA LITERATURA	05
2.1- Área de Estudo	05
2.1.1- Generalidades	05
2.1.2 - História	07
2.1.3 - Unidades de Conservação	10
2.1.4 - Aspectos Climáticos	11
2.1.5 – Geologia	13
2.2 - Fundamentação Teórica	21
2.2.1- A Importância dos Movimentos de Massa	21
2.2.2 - Tipos de Movimentos de Massa	21
2.2.3 - Fatores Condicionantes	28
2.2.4 - Agentes predisponentes	30
2.2.4.1 – A declividade	30
2.2.4.2 - Forma de vertentes	31
2.2.4.3 - Estruturas geológicas	33
2.2.4.4 – Litologia	34
2.2.5- Os agentes efetivos	35
2.2.5.1- Uso e cobertura do solo	35
2.2.5.2 - Papel da chuva nos escorregamentos	38
2.2.5.2.1 - Índices de chuva causadores de escorregamentos	39
2.2.6 - Métodos de Mapeamentos da suscetibilidade a movimentos de massa	40
2.2.7 - Aplicação de geotecnologias ao estudo de movimentos de massa	44
2.2.7.1 - Aplicação de SIG ao estudo de movimentos de massa	44

2.2.7.2 - Aplicação de Sensoriamento remoto ao estudo de movimentos de massa	47
2.2.8 - Exemplos de pesquisas de avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa	49
2.2.9 - Estudos anteriores na Serra do Mar	53
2.3 - Caracterização dos produtos de sensoriamento remoto utilizados	54
2.3.1 - Landsat	54
2.3.2 - ASTER	56
2.3.3 - SRTM	57
2.3.4 - Comparação SRTM e ASTER	60
3. JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA E DA ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO	62
4. OBJETIVOS	63
5. MATERIAIS E MÉTODOS	64
5.1 – Materiais	64
5.2 – Métodos	67
5.2.1 - Mapa geológico	67
5.2.2 - Imagens de sensoriamento remoto	67
5.2.3 - Cartas de uso e cobertura do solo	68
5.2.4 - Carta de descontinuidades estruturais	70
5.2.5 - Cartas de declividade e curvatura de encostas	70
5.2.6 - Banco de dados	71
5.2.7 - Re-classificação	72
5.2.7.1 - Mapa Geológico	72
5.2.7.2 - Uso e cobertura do solo	72
5.2.7.3 - Carta de Declividade	73

5.2.7.4 - Carta de Curvatura de encostas	73
5.2.7.5 - Carta de descontinuidades estruturais	73
5.2.8 - Composição da carta de suscetibilidade	74
5.2.9 - Dados de pluviosidade	75
6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	77
6.1 - Uso e cobertura do solo	77
6.2 – Geologia	89
6.3 - Descontinuidades estruturais	91
6.4 - Cartas de declividade	92
6.4.1 - Comparação dos resultados das cartas de declividade	92
6.5 - Cartas de curvatura de encostas	93
6.5.1 - Comparação dos resultados das cartas de curvatura	93
6.6 - Comparação das cartas de suscetibilidade	94
6.7 - Evolução do uso e cobertura do solo nas diversas classes de suscetibilidade	101
6.8 - Análise dos dados coletados pela Defesa Civil de Paraty	107
6.8.1 - Cartas de pluviosidade mensais e do verão	110
6.8.2 - Cruzamento com a carta de suscetibilidade de 2008	117
6.8.3 - Outros parâmetros importantes	120
6.9 – Análise das cicatrizes encontradas	125
7. CONCLUSÕES	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pão de açúcar localizado no Município de Paraty.....	1
Figura 2 – Localização do Município de Paraty – RJ.....	5
Figura 3 – Mapa de Isoietas do município de Paraty apresentado no Projeto Rio de Janeiro.....	13
Figura 4 – Coluna Tectono-estratigráfica das unidades aflorantes no município de Paraty.....	14
Figura 5 - Perfil geológico-estrutural perpendicular à costa na divisa dos municípios de Paraty e Angra dos Reis até a divisa com o município de Cunha.....	15
Figura 6 - Mapa litológico do Município de Paraty. Extraído do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina.....	18
Figura 7 - Escorregamentos planares ou translacionais em solos.....	24
Figura 8 - Escorregamentos circulares ou rotacionais.....	25
Figura 9 - Escorregamentos em cunha.....	26
Figura 10 – Exemplos de outros movimentos de massa.....	28
Figura 11 – Rotas percorridas a partir de sobrevôos em helicóptero, através de incursões com veículos nas vias de acesso rodoviário e observação da costa com o auxílio de embarcação.....	66
Figura 12- Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty – 1973.....	78
Figura 13- Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty – 1986.....	79
Figura 14 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty - 1993.....	80
Figura 15 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty – 2000.....	81
Figura 16 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty – 2007.....	82
Figura 17 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty – 2008.....	83

Figura 18 – Mangue sendo ocupado no município de Paraty, dentro da Área de Proteção Ambiental do Cairuçu.....	84
Figura 19 – Ocupação ilegal com destruição de mangue para a construção de praia e estrada de acesso.....	85
Figura 20 – Evolução entre 1973 e 2008 da área recoberta por vegetação densa com tendência de evolução segundo polinômio de 2º grau e desvio médio quadrático.....	88
Figura 21 – Desmatamento de áreas dentro do Parque Nacional da Serra da Bocaina para pastos não utilizados.....	88
Figura 22 – Área de vegetação em recuperação.....	89
Figura 23 – Mapa Geológico do Município de Paraty (fonte: BRASIL, 2000).....	90
Figura 24 – Carta de descontinuidades estruturais do município de Paraty.....	91
Figura 25 – Variação das áreas de baixa suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados.....	96
Figura 26 – Variação das áreas de média suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados.....	96
Figura 27 – Variação das áreas de alta suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados.....	96
Figura 28 - Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE SRTM 30. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008.....	98
Figura 29 - Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE ASTER 30. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008.....	98
Figura 30 - Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE ASTER 15. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008.....	98

Figura 31 – Evolução das áreas de baixa suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.....	100
Figura 32 - Evolução das áreas de média suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.....	100
Figura 33 - Evolução das áreas de alta suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.....	100
Figura 34 - Evolução das áreas de baixa suscetibilidade, da sua perda de áreas vegetadas e da expansão da ocupação humana.....	101
Figura 35 – Ocupação atual da sede do município em área de baixa suscetibilidade e, em primeiro plano, ampla área vizinha e passível de ocupação sem risco de escorregamentos.....	102
Figura 36 - Evolução das áreas de média suscetibilidade e da sua perda de áreas vegetadas e expansão da ocupação humana.....	104
Figura 37 - Evolução das áreas de alta suscetibilidade e da sua perda de áreas vegetadas e expansão da ocupação humana.....	105
Figura 38 - Residência construída ao lado de uma grande área desmatada e instável..	106
Figura 39 - Cicatriz recente e um longo afloramento rochoso gerado por escorregamento antigo em área de alta declividade e sem ocupação humana.....	106
Figura 40 – Carta de pluviosidade do mês de Outubro de 2007.....	111
Figura 41 – Carta de pluviosidade do mês de Novembro de 2007.....	111
Figura 42 – Carta de pluviosidade do mês de Dezembro de 2007.....	112
Figura 43 – Carta de pluviosidade do mês de Janeiro de 2008.....	112
Figura 44 – Carta de pluviosidade do mês de Fevereiro de 2008.....	113
Figura 45 – Carta de pluviosidade do mês de Março de 2008.....	113
Figura 46 – Carta de pluviosidade do mês de Abril de 2008.....	114

Figura 47 – Carta de pluviosidade do mês de Maio de 2008.....	114
Figura 48 – Carta de pluviosidade do mês de Junho de 2008.....	115
Figura 49 – Carta de pluviosidade do mês de Julho de 2008.....	115
Figura 50 – Carta de pluviosidade do verão 2007/2008.....	116
Figura 51 – Mapa de Isoietas do município de Paraty.....	117
Figura 52 – Carta de Suscetibilidade a escorregamentos considerando a influência da pluviosidade anual indicada pela CPRM.....	118
Figura 53 – Carta de Suscetibilidade a escorregamentos considerando a influência da pluviosidade no verão 2007-2008.....	120
Figura 54 - Locais e número de ocorrência de chuva com índices acima de 75 mm diários e inferiores a 100 mm diários.....	121
Figura 55 - Locais e número de ocorrências de chuvas com índices iguais ou superiores a 100 mm diários.....	122
Figura 56 - Locais e número de ocorrências com índices acima de 200 mm de chuvas acumuladas em períodos de 15 dias consecutivos.....	123
Figura 57 - Locais e número de ocorrências com índices acima de 75 mm de chuva no 16º dia após um acumulado superior a 200 mm nos 15 dias antecedentes.....	124
Figura 58 – Localização de cicatrizes no entorno da Estrada Paraty Cunha.....	125
Figura 58 a – Escorregamento ocorrido em 10 de Janeiro de 2009 na estrada Paraty Cunha no Município de Paraty (foto de Graziela Moraes Barros).....	126
Figura 58 b – Escorregamento ocorrido em 10 de Janeiro de 2009 na estrada Paraty Cunha no Município de Paraty (foto de Graziela Moraes Barros).....	126
Figura 59 – Localização de cicatrizes no entorno da BR 101 e na parte oceânica do Município de Paraty.....	127

Figura 59 a – Escorregamento recente ocorrido na BR 101.....	128
Figura 59 b – Escorregamento recente ocorrido na BR 101.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de suscetibilidade a escorregamentos em função de diferentes coberturas vegetais.....	38
Tabela 2 – Características dos sensores orbitais dos satélites da série Landsat.....	55
Tabela 3 – Características das bandas espectrais do sensor ASTER.....	56
Tabela 4 – Lista das imagens ópticas utilizadas, com sensor e data de obtenção.....	64
Tabela 5 - Áreas em Km ² das diversas classes de uso e cobertura do solo do município de Paraty entre os anos de 1973 e 2008.....	77
Tabela 6 – Características das cartas de declividade obtidas através dos MDEs utilizados.....	92
Tabela 7 – Características das cartas de curvatura de encostas obtidas através dos MDEs utilizados.....	93
Tabela 8 – Porcentagem das áreas relativas a cada classe de suscetibilidade a escorregamentos para o ano de 2008, considerando os diferentes MDEs utilizados.....	94
Tabela 9 – Evolução da distribuição das classes de suscetibilidade a escorregamentos do Município de Paraty para os anos estudados utilizando o MDE ASTER 15.....	99
Tabela 10 – Dados de pluviosidade coletados pela Defesa Civil de Paraty, os períodos sem coleta de dados foram substituídos por dados interpolados (em negrito).....	109
Tabela 11 – Dados de pluviosidade coletados pela defesa Civil de Paraty do período do verão de 2007/2008.....	110

RESUMO

Silva, O. C. A. *Análise da suscetibilidade a escorregamentos e da evolução do uso e cobertura do solo no município de Paraty – RJ*. 2009. p. 150. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O município de Paraty localiza-se entre os de Angra dos Reis e Ubatuba, palcos de numerosos episódios de escorregamentos. Tal como os municípios vizinhos é marcado pela presença da Serra do Mar, na qual os escorregamentos rasos de solo sob a forma de movimentos translacionais respondem pela maior parte da evolução do relevo. E, no entanto, não há ali referências de mortes associadas a estes acidentes, relativamente numerosas nos dois municípios vizinhos. A pesquisa teve por objetivo fazer uma carta da suscetibilidade a escorregamentos (SE) do município, auxiliando ao poder público local no planejamento do uso e ocupação futura do solo paratiense. Esta carta, com três classes de suscetibilidade (baixa, média e alta) foi fruto do cruzamento, em ambiente SIG, de cartas de uso e cobertura do solo (dados de imagem orbital de sensoriamento remoto e informação de campo), de litologias, de estruturas geológicas, de declividade e de forma das encostas. Foram testados três diferentes modelos digitais de elevação para a elaboração dos mapas de declividade e forma de encostas: SRTM e ASTER re-amostrados para 30 m de resolução espacial e ASTER, 15 m de resolução espacial, que foi o adotado pela distribuição mais confiável das áreas relativas às diferentes classes de suscetibilidade. Na ausência de dados de pluviosidade confiáveis e adequados à pesquisa foram considerados, para um exercício de demonstração da importância do parâmetro, dados fornecidos pela Defesa Civil de Paraty, complementados por dados de áreas circundantes (DAEE-SP e Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina) e do Mapa de Isoietas da CPRM. Em trabalhos de campo por terra, mar e ar foi observado o uso e cobertura do solo e localizadas cicatrizes de escorregamentos.

Considerando existirem imagens orbitais desde antes do fim do isolamento de Paraty, em 1975, obteve-se a evolução das áreas florestadas do município interpretando imagens orbitais dos anos de 1973, 1986, 1993, 2000, 2007 e 2008. As cartas assim geradas foram cruzadas com os demais parâmetros dados pelos condicionantes naturais dos terrenos, evidentemente estáveis no período, permitindo obter cartas de SE ao longo de 35 anos e sua evolução no período. A análise desta evolução é preocupante, pois mostra que a ocupação humana nas áreas de alta suscetibilidade aumentou 4,8% ao ano. Os resultados classificam 34% da área do município como de baixa suscetibilidade, 53% como de média e 13% como de alta. Observe-se que entre 1973 e 2008, 23% das florestas foram perdidas, com uma perda anual média de 0,6%, mais acentuada no período de abertura da BR-101 (o que é inevitável) e a partir do ano 2000 (o que é preocupante). Conclui-se que a população habita, sobretudo, as áreas de baixa suscetibilidade a escorregamentos enquanto que nas áreas de média e alta suscetibilidades, sem cobertura florestal, predominam pastos. Embora as perspectivas preocupem, este estudo alerta para um risco futuro, ainda em tempo de ser minimizado e/ou evitado. Considerando a expansão urbana e rural como inevitável, um Plano Diretor que considere a suscetibilidade a movimentos de massa é imprescindível.

Palavras-chave: Suscetibilidade a escorregamentos, Uso e cobertura do solo, Paraty, Geotecnia.

ABSTRACT

Silva, O. C. A. Analysis of landslides susceptibility and use and landcover evolution of Paraty City - RJ. 2009. p. 149. Thesis - Institute of Geosciences, University of São Paulo, São Paulo.

The city of Paraty is located between the Angra dos Reis and Ubatuba municipalities, stages of a numerous episodes of landslides. As the neighboring cities is marked by the presence of the Serra do Mar, where the shallow landslides in the form of translational movements account for most of the evolution of relief. And yet, there is no reference to deaths associated with these accidents, relatively numerous in the two neighboring cities. The research aimed to make a to landslides susceptibility map (SE) of Paraty municipality, helping the local government in planning the future soil use and occupation. This map, with three classes of susceptibility (low, medium and high) was the result of crossing, in a GIS environment, of the use and land cover (image data of orbital remote sensing and field information), lithologies, geological structures and slope and curvature maps. We tested three different digital elevation models for the development gives maps of slope and curvature: SRTM and ASTER re-sampled to 30 m spatial resolution and ASTER 15 m spatial resolution, which was adopted by the distribution of more reliable areas relating to different classes of susceptibility. In the absence of reliable rainfall and suitable for research, was considered, for an exercise to demonstrate the importance of the parameter, data from the Civil Defense of Paraty, supplemented by data from surrounding areas (DAEE-SP and Management Plan of the National Park of Bocaina) and the map of isohyets from Bazilian Geological Service (CPRM). In the field, by land, sea and air was observed the use and land cover and localized slip scars. Whereas there are orbital images from the end of the isolation of Paraty, in 1975, resulted in the development of forested areas in the municipality interpreting orbital images of the years 1973, 1986, 1993, 2000, 2007 and 2008. The maps thus generated were crossed with

the other parameters given by the natural conditions of land, evidently stable in the period, enabling them to get maps of SE over 35 years and their evolution over time. The analysis of this trend is worrisome because it shows that human occupation in areas of high susceptibility increased 4.8% per year. The results classify 34% of the municipal area as low susceptibility, 53% as medium and 13% as high. Note that between 1973 and 2008 23% of forests were lost, with an average annual loss of 0.6%, more pronounced during the opening of the BR-101 (which is inevitable) and from 2000 (which is worrying). It follows that the population lives, especially the areas of low susceptibility to landslides while the areas of medium and high sensitivities without forest cover dominated pastures. Although the prospects worry, this study shows a future risk, just in time to be minimized and / or avoided. Considering the rural and urban sprawl as inevitable, a Master Plan to consider the susceptibility to mass movements is essential.

1. INTRODUÇÃO

O município de Paraty, situado no Estado do Rio de Janeiro, é marcado pela presença da Serra do Mar e por uma cobertura de Mata Atlântica bem preservada em, aproximadamente, 65% do território municipal. Hoje, entretanto, é um pólo turístico em desenvolvimento, com inevitável aumento populacional e decorrente desmatamento. A Serra do Mar, que ocupa a maior parte da área do município, constitui a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente sul-americano (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998) onde pães de açúcar (Figura 1), escarpas e encostas íngremes, cobertas predominantemente por Florestas Ombrófilas densas, são as feições de relevo mais notáveis e chegam a receber de 2000 mm a 4000 mm anuais de chuva fortemente controlada pelo relevo (PLOEY; CRUZ, 1979; DANTAS et al., 2005). A região de estudo apresenta as altitudes mais expressivas de toda a feição da Serra do Mar, chegando a desníveis de 2.000 metros.



Figura 1 – Pão de açúcar localizado no Município de Paraty (foto: Orjana Carvalho).

Embora a Serra do Mar tenha origem tectônica, sua evolução recente tem nos movimentos de massa os principais processos de escultura do relevo, fazendo parte de sua evolução natural (PLOEY; CRUZ, 1979; COUTO et al., 2005). O entendimento destes processos, muito associados a situações de risco geológico, tem motivado pesquisas como as de Ploey e Cruz (1979), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1988 apud LOPES et al., 2007), Wolle (1988), Furian, Barbiéro e Boulet (1999); Fernandes e Amaral (2003), Fernandes et al. (2004). Segundo Amaral (1997 apud FERNANDES et al., 2001), os escorregamentos rasos de solo, geralmente sob a forma de movimentos translacionais, respondem por cerca de 38% dos processos ocorridos entre 1962 e 1992, o que indica serem a forma de ocorrência mais importante na cidade do Rio de Janeiro e na serra do mar paulista (RIEDEL et al., 2007). O que, segundo Wolle e Carvalho (1989 apud FERNANDES et al., 2001), é um comportamento característico de todo o escarpamento da Serra do Mar.

O município de Paraty encontra-se entre os municípios de Angra dos Reis (RJ) e Ubatuba (SP), locais de numerosos episódios de escorregamentos, inclusive com vítimas. A ocupação menos intensa e as amplas áreas de florestas não suscitaram estudos acerca da suscetibilidade a escorregamentos em Paraty e estes foram até hoje encarados como simples evolução do relevo, sem maiores ônus para a população local. A ocupação urbana no município ainda não chegou às áreas de encostas íngremes e a ocorrência de corte e aterro para a construção de casas ainda é rara e a população ainda se encontra essencialmente em áreas de baixas declividades. Já a população rural está gradualmente subindo as escarpas da Serra do mar em direção ao planalto paulista, mas ainda instala suas residências onde a topografia é favorável e a pecuária, atividade dominante em termos de área no município, influencia pouco na estabilidade do terreno, não alterando a topografia para sua implantação.

Graças à ação do IBAMA uma fazenda de pecuária de corte em meio ao Parque Nacional da Serra da Bocaina foi fechada, mas as áreas de pasto são comuns naquela unidade

de conservação. Apesar de ações isoladas, a expansão urbana e rural vem desmatando as escarpas da Serra do Mar e há pressão para a ocupação de áreas cada vez mais próximas às encostas íngremes, que acabam por gerar instabilidades graves quando há adoção da técnica de corte e aterro, como já se observa nos núcleos urbanos de Ponte Branca e Pantanal.

O processo de desmatamento não apenas soma mais um fator de instabilidade aos condicionantes naturais como introduz o risco geológico aos habitantes. O que motivou esta pesquisa foi a ausência de trabalhos na literatura em que pese Paraty situar-se em ambiente potencialmente sujeito a movimentos de massa e estar entre dois municípios com históricos de acidentes graves a esse respeito. A pesquisa tem por objetivo geral elaborar uma carta de suscetibilidade a movimentos de massa relacionada à atual ocupação do meio físico e também abordar a evolução desta ocupação nos últimos 35 anos, período em que Paraty passou de uma pequena cidade isolada à beira mar a ponto turístico internacionalmente conhecido.

A pesquisa tem caráter acadêmico e não pretende ter o grau de detalhe necessário ao ordenamento da ocupação do meio físico no município. Por outro lado representa uma primeira abordagem neste sentido, antecipando-se a acidentes potencialmente graves em termos de perdas de vidas humanas e de infra-estrutura. Assim o conjunto de informações e métodos utilizados teve custos irrisórios e pode ser encarado como proposta metodológica para abordagens similares em outras regiões com fisiografia semelhante. Nos materiais utilizados, além dos dados da literatura destacam-se os de sensoriamento remoto. Os dados referentes a ocupação do meio físico e sua evolução entre 1973 e 2008 provêm de sensores orbitais ópticos. Já os modelos digitais de elevação foram obtidos tanto por sensor óptico, utilizando a diferença de paralaxe de imagens ópticas do sensor orbital ASTER, quanto por interferometria de microondas de sensor orbital (SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*).

Dados do terreno foram obtidos percorrendo-se as vias de acesso rodoviário do município, acessando por mar toda a costa da porção mais isolada e selvagem e por vôos de

helicóptero todo o restante do município, incluindo amplas porções de topografia acentuada e completamente selvagens. Estas atividades de campo foram possíveis graças à intensa colaboração do IBAMA local. O tratamento dos dados deu-se em laboratório do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – Laboratório de Informática Geológica – onde as imagens de sensoriamento remoto, todas adquiridas sem custos, foram processadas e todo o conjunto de dados foi trabalhado em ambiente de sistema de informação georeferenciada.

Os resultados da pesquisa são pioneiros no município e seu desenvolvimento não fugiu de práticas básicas adotadas na literatura. Os dados previamente disponíveis foram suficientes para elaborar um diagnóstico regional da suscetibilidade. Embora seu caráter seja caracteristicamente acadêmico e em pequena escala, seu pioneirismo poderá auxiliar o poder público local no ordenamento da ocupação do meio físico.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1- ÁREA DE ESTUDO

2.1.1- GENERALIDADES

A área de estudo é o município de Paraty, localizado na região costeira do extremo sul do Estado do Rio de Janeiro. Faz divisa ao norte com o município de Angra dos Reis e ao sul e oeste, respectivamente, com Ubatuba e Cunha, municípios do Estado de São Paulo (Figura 2).



Figura 2 – Localização do Município de Paraty – RJ.

O município é famoso por seu patrimônio arquitetônico colonial, pelas extensas áreas de Mata Atlântica preservada e relevo marcadamente montanhoso pela presença da Serra do Mar, localmente conhecida como Serra da Bocaina. Sua linha de costa é recortada por costões rochosos, provenientes das vertentes íngremes da escarpa da serra da Bocaina, e baías e enseadas que delineiam as baías de Sepetiba e da Ilha Grande (DANTAS et al., 2005). O relevo do Município é bastante acidentado, o qualificando como candidato aos objetivos do trabalho.

A cobertura vegetal do município inclui a Floresta Ombrófila Densa (Submontana, Montana e Alto Montana), Floresta Ombrófila Mista Alto Montana e Campos de Altitude

bem conservados, apesar dos impactos antrópicos. Existem formações pioneiras de restingas e mangues em solos submetidos às influências marinha, fluvial e fluviomarinha (BRASIL, 2000).

Paraty possui pequenos aglomerados urbanos e sua área é preferencialmente ocupada por áreas de pecuária e uso agrícola. De 1970 até 2000 a população urbana cresceu 607,81% enquanto que o crescimento da rural veio a se intensificar nos anos 1990 (FLEXOR, 2004). A população do município é essencialmente urbana, porém a população rural, apesar de pouco numerosa, ocupa uma grande extensão em área.

Na agricultura a principal cultura local é a banana, em declínio desde 1990 (FLEXOR, 2004), mas ainda responsável por 95% da produção agrícola (GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). O declínio também se deu na produção de cana-de-açúcar e mandioca. A única cultura que vem aumentando é a do palmito pupunha e açaí. Na pecuária, a criação de suínos e aves se encontra em declínio, a pecuária bovina tem se apresentado estável com um pequeno crescimento na pecuária leiteira (FLEXOR, 2004; GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). Uma criação que vem crescendo nos últimos anos é a de abelhas (FLEXOR, 2004).

A população ainda se concentra em áreas de baixa declividade, com pouca ocupação de encostas onde a topografia acentuada dificulta a ocupação. Os vales que sobem em direção ao planalto do Estado de São Paulo ainda estão predominantemente cobertos por Mata Atlântica, mas há porções significativas desmatadas, ocupadas principalmente por pastagens. A única atividade mineral legal em Paraty é dada por porto de areia licenciado (DNPM 9º DISTRITO – RJ licenciamento 890.629/06) e há ainda pequenas e ilegais áreas de empréstimo e portos de areia temporários.

2.1.2 - HISTÓRIA

Por ter sido considerada como um ponto estratégico de comunicação entre Rio de Janeiro e São Paulo e como ponto de entrada para o interior do continente, utilizando a trilha dos índios goianás, o município de Paraty sofreu os efeitos de diversos dos mais importantes ciclos econômicos do sudeste do Brasil, como o do ouro e o do café (GOMES; CARMO; SANTOS, 2004; SOARES, 2006). Teve um desenvolvimento precoce quando, entre 1574 e 1578, a cidade do Rio de Janeiro tornou-se sede do Governo Geral do Leste e Sul e a comunicação com São Paulo se intensificou. Na ocasião as trilhas de Paraty, abertas pelos índios, foram sendo utilizadas pelos portugueses como meio de penetração do litoral para o interior. De um pequeno núcleo passou, em 28 de fevereiro de 1667, a Vila de Nossa Senhora dos Remédios de Paraty (NASCIMENTO, 2004).

Com descoberta de ouro na região das Gerais, ocorrida nos últimos anos do século XVII, intensificou-se a corrida pelas minas de ouro e pedras preciosas e a trilha dos índios aumenta em importância e passa a transportar, além de ouro e pedras preciosas, uma grande variedade de mercadorias. Este processo torna a região e a Vila de Nossa Senhora dos Remédios de Paraty ainda mais importantes para a colônia (NASCIMENTO, 2004). Com isso ocorreu um grande crescimento econômico e urbano da vila na primeira metade do século XVIII, passando de um pequeno povoado para um importante entreposto comercial e porto exportador da produção das minas, chegando a ser o 2º porto mais importante do Brasil, depois apenas do Rio de Janeiro.

Ainda assim o caminho era longo e a Metrópole desejava um caminho mais curto e seguro a ligar o Rio de Janeiro às Minas Gerais, sem passar pelo mar. Com isso em 1767, o chamado de Caminho Novo (estrada da Serra dos Órgãos) teve suas obras concluídas. A estrada de Paraty, chamada a partir de então de Caminho Velho, teve seu movimento diminuído progressivamente, iniciando o primeiro momento de crise da história de Paraty.

Paraty resistiu como centro produtor e exportador de gêneros alimentícios e de aguardente, chegando a ser o maior centro produtor de aguardente da capitania. Porém seu comércio enfraqueceu gradativamente (NASCIMENTO, 2004).

O tráfego pelo Caminho Velho voltou a se intensificar quando, nas primeiras décadas do século XIX, a produção de café se espalhou por todo o vale do rio Paraíba, chegando a representar 88% da produção nacional. Com o ciclo do café houve novo crescimento em Paraty. A indústria da cachaça experimentou grande crescimento, assim como o tráfico de escravos ilegal, porém lucrativo. Na mesma época, em 1844, a Vila passa à categoria de cidade com o nome de Paraty (GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). Tal evolução levou à melhor conservação das estradas da serra, fundamentais para a economia da cidade (NASCIMENTO, 2004).

Entretanto, em 1850, D. Pedro II proibiu o tráfico negreiro causando sérios problemas à economia local, que se sustentou pelo comércio do café e de outros produtos. Mas com a chegada da Estrada de Ferro D. Pedro II à cidade de Barra do Piraí em 1864 e, em 1877, a Guaratinguetá, toda a produção do vale do Paraíba passa a ser transportada por essa nova via, iniciando o maior momento de crise de Paraty. A abolição da escravatura, em 1888, selou de vez sua estagnação. Houve um êxodo que reduziu seus 16.000 habitantes em 1851, para 12.000 em 1856, 7.438 em 1872, com um pequeno aumento para 7.927 até 1890, mas declinando novamente para 7.885 em 1920 (NASCIMENTO, 2004).

Paraty entrou no século XX com sua economia estagnada, a cidade isolada e sua economia em rápido retrocesso, com declínio urbano e demográfico. Graças a este isolamento ocorreu a preservação de sua antiga arquitetura urbana e os costumes de seus habitantes, o que levou à obtenção, em 1948, do título de Patrimônio Estadual.

O início da reversão da decadência se deu por volta de 1945, quando foi “redescoberta” por seu grande potencial turístico e assim Paraty entra em seu ciclo turístico

(NASCIMENTO, 2004), levando em 1958, ao seu tombamento como Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e conversão em Monumento Nacional em 1966, pelo Decreto 58.077, onde o tombamento de fato passa a incluir toda a zona rural (GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). O tombamento preserva uma relíquia do Brasil colonial, tanto pelo casario como pelas matas notavelmente preservadas. Nesta época, já havia no país uma preocupação com a preservação de bens materiais e o turismo encontrou aí um importante campo de atuação (NASCIMENTO, 2004).

Almeida (1997) analisando o processo que transformou Paraty em Monumento Nacional observa que houve a preocupação em se preservar tanto o acervo histórico como a mata circundante, o que foi muito auxiliado por seu fraco desenvolvimento econômico até o final da década de 1960, sobrevivendo de uma parca economia de subsistência, da pesca artesanal e de pequena produção de aguardente. Tinha como via de transporte a estrada Paraty-Cunha, utilizável somente durante a estação seca, e a ligação com Angra dos Reis, por via marítima. Na segunda metade da década de 1970 o asfalto da rodovia BR-101 chega a Paraty, tirando-a do isolamento e a reinserindo no eixo Rio-São Paulo (NASCIMENTO, 2004; GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). É então fomentado o turismo no litoral que hoje responde por 80% do PIB local.

A população passa de 9.360 residentes em 1950 a 12.023 em 1960, 15.934 em 1970, 20.626 em 1980, 23.637 em 1991, 27.127 em 1996, 29.544 em 2000 e 32.838 em 2007 (Fonte: Censo Demográfico do Rio de Janeiro – IBGE). Com esse processo contínuo, mesmo que lento, vem ocorrendo a modificação da paisagem do município, decorrente da necessidade crescente de urbanização. A expansão urbana tem se dado muitas vezes na direção de áreas inadequadas para o uso, como em áreas de várzeas, sujeitas à inundação, e áreas com elevadas declividades, sujeitas a processos erosivos e/ou escorregamentos (VALENTE, 1996).

2.1.3 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO EM PARATY

A especulação imobiliária vem lenta e continuamente expulsando a população em direção à floresta, gerando desmatamento e destruição de matas ciliares e mata Atlântica (GOMES; CARMO; SANTOS, 2004). A fim de cessar os desmatamentos em Paraty, instituiu-se, em fevereiro 1971, o Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB), com uma área inicial de 134.000 ha pelo Decreto Federal nº 68.172, alterado posteriormente com a perda de cerca de 200 km² de parque (BRASIL, 2000). Em sua zona de amortecimento foi criado na mesma época o Parque Estadual Paraty - Mirim em 1972, que em 1976 passa a Área Estadual de Lazer de Paraty - Mirim com 1.747 ha (DE 996).

Posteriormente houve a criação de mais cinco Unidades de Conservação no município: Área de Proteção Ambiental Federal de Cairuçu criada em 1983 com 33.800 ha, Estação Ecológica Federal dos Tamoios e a Reserva Ecológica Estadual de Juatinga criadas em 1991, APA municipal da Baía de Paraty e Saco do Mamanguá e a Área de Lazer Paraty-Cunha. Todo este conjunto de áreas protegidas compõe cerca de 80% da área do município.

Apesar da proteção formal à maior parte da área do município, a expansão populacional desrespeita as condições do meio físico. Sobretudo a população mais carente promove ocupação desordenada e agressiva, inclusive em áreas de risco (VALENTE, 1996). Isto ocorre na maioria das vezes com o aval do poder público, que não toma medidas para impedir ou frear o processo de ocupação e uso indevido do solo, intervindo apenas quando acontecem desastres naturais ou induzidos (THOMAS; BUENO; LAPOLLI, 2001; ANJOS 1999 apud NOVAES JÚNIOR; COSTA, 2007). Observe-se que o turismo de terceira moradia de classe média alta e alta raramente ocupa áreas de risco, mas, freqüentemente, ocupa áreas de proteção permanente como praias, mangues e áreas de floresta de restinga.

2.1.4 - ASPECTOS CLIMÁTICOS

Pela classificação de Köppen o clima de Paraty é “AW” quente e úmido (verão chuvoso e inverno seco). Sua latitude em torno de 23°S, sua proximidade da costa e as características meteorológicas de grande escala do continente sul-americano conferem à região um clima litorâneo ameno, com ventos de baixa intensidade, recebendo eventualmente a influência das massas de ar polar, porém com impactos de intensidade moderada sobre a temperatura no inverno e sobre as precipitações no verão e estações intermediárias (REIS et al., 2005).

O litoral sul do Estado Rio de Janeiro possui os maiores índices pluviométricos do Estado, que possui um dos mais altos índices pluviométricos anuais do país (NIMER, 1979; MONTEIRO, 1999). Segundo Soares, Francisco e Carvalho (2005) a distribuição espacial de chuvas e os elevados índices pluviométricos do sul fluminense são decorrentes da interação entre os mecanismos dinâmicos (influência regional) e os fatores estáticos (influência local).

A Serra do Mar ocasiona intensa pluviosidade orográfica (DANTAS; BRANDÃO, 1994 apud BRASIL, 2000), pois esta é a primeira barreira, após o oceano, às instabilidades frontais e pós-frontais subpolares sendo comparativamente mais chuvosa (2.000 a 4.500 mm anuais) que a Serra da Mantiqueira (2.000 a 2.500mm anuais) (CPRM, 2000). O trabalho de Soares, Francisco e Carvalho (2005) mostra a disposição do relevo influenciando na distribuição das chuvas, com os locais a barlavento (voltados para a costa) e próximos ao litoral apresentando maiores índices, enquanto que a sotavento a pluviosidade diminui com a distância do litoral (CPRM, 2000).

Segundo Soares, Francisco e Carvalho (2005), as áreas mais chuvosas estão próximas ao litoral, a barlavento, sem a presença de uma barreira topográfica que interfira na passagem das frentes, gerando um índice pluviométrico anual acima de 2.000 mm em locais que se estendem entre Bracuí (Angra dos Reis) e São Roque (Paraty). No período úmido (outubro a

março), o índice ultrapassa 1.500 mm e no período seco (abril a setembro) esta área continua com índices pluviométricos mais elevados da área de estudo, alcançando 800 mm.

Outro aspecto relevante para a pesquisa é a disposição geográfica das vertentes da Serra do Mar, que na região são voltadas principalmente para o sul, levando ao impacto direto com as frentes frias provenientes do Atlântico Sul/Antártida e agindo assim como barreiras.

Segundo o plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (Brasil, 2000) a média de precipitação anual é de 1319 mm, sendo o mês de março o mais chuvoso e junho e agosto os mais secos. Já o Mapa de Isoietas (Figura 3) apresentado no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) mostra uma intensa variação de pluviosidade na área do município, com uma distribuição claramente associada ao relevo regional, variando entre 1.650 mm a mais de 2.500 mm, mostrando uma pluviosidade anual acima da citada em Brasil (2000).

Uma terceira fonte de dados, que serão discutidos posteriormente, são as planilhas de pluviosidade diária da Defesa Civil da Prefeitura Municipal de Paraty, que indicam, para o intervalo de dez meses (outubro de 2007 a julho de 2008), totais acumulados entre 1700 mm e 3046,32 mm. Esses dados foram coletados em 15 pontos distribuídos no território do Município de Paraty. Embora estes dados sejam importantes para a pesquisa, observa-se que para se estabelecer o comportamento climático padrão de uma região são necessários dados de 30 anos, como estipulado internacionalmente (SOARES, 2006). Entretanto, é evidente o caráter de alta pluviosidade anual da região de estudo. Na ausência da série histórica de dados, a classificação de seu clima baseou-se na proximidade e similaridade geoambiental com os municípios vizinhos de Angra dos Reis (RJ) e Ubatuba (SP), os quais possuem um histórico de deslizamentos mais freqüentes no verão, associados à ocorrência de chuvas mais intensas e freqüentes (DANTAS et al., 2005).

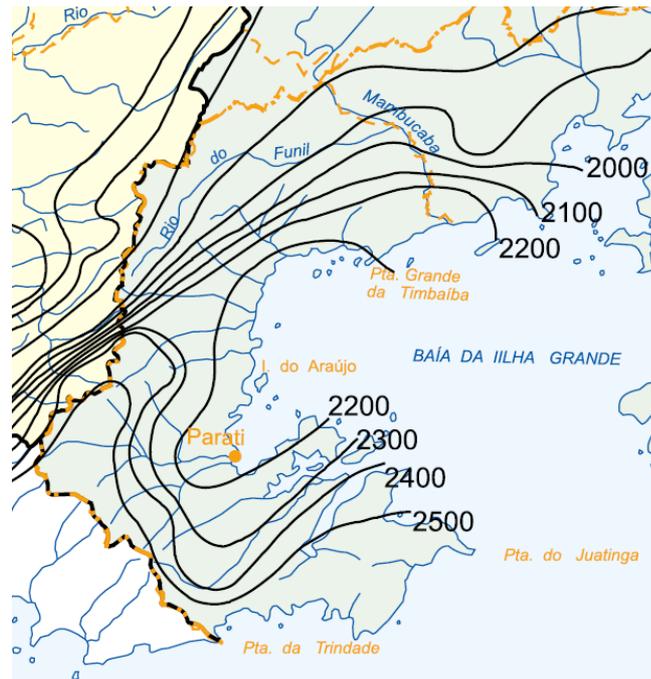


Figura 3 – Mapa de Isoietas do município de Paraty apresentado no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Outro parâmetro climático importante para o tema da pesquisa é o padrão de ventos, pois a chuva acompanhada de ventos aumenta a energia do choque das gotas com as superfícies quanto mais estas estiverem perpendiculares à direção do vento, além de contribuir para o efeito alavanca proporcionado pelas raízes da vegetação. O padrão de ventos predominante no verão, quando ocorrem as grandes chuvas e os escorregamentos, é do quadrante sudeste, que favorece a ocorrência de chuvas orográficas na região. Os trágicos episódios de deslizamentos nos dias 8 e 9 de dezembro de 2002 em Angra dos Reis, associam-se à passagem de um sistema frontal na região, com ventos de sudeste (SOARES, 2006).

2.1.5 - GEOLOGIA

Considerando o mapa tectônico de Eirado et al. (2006), no município de Paraty ocorrem rochas das quatro unidades tectônicas da Faixa Ribeira na Serra do Mar, quais sejam os Terrenos Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul e Embu. A estas rochas acrescentam-se os sedimentos quaternários.

A Faixa Ribeira compreende um conjunto de terrenos tectônicos formados por associações litológicas, metamorfismo e estilos estruturais contrastantes, empilhados sobre a margem do Cráton do São Francisco pela interação deste paleocontinente com outros (HEILBRON et al., 2004; Eirado et al., 2006). Estes terrenos têm ampla distribuição cronológica, como mostra a Figura 4, mas seu empilhamento está fortemente alterado por tectonismo, como mostra a Figura 5.

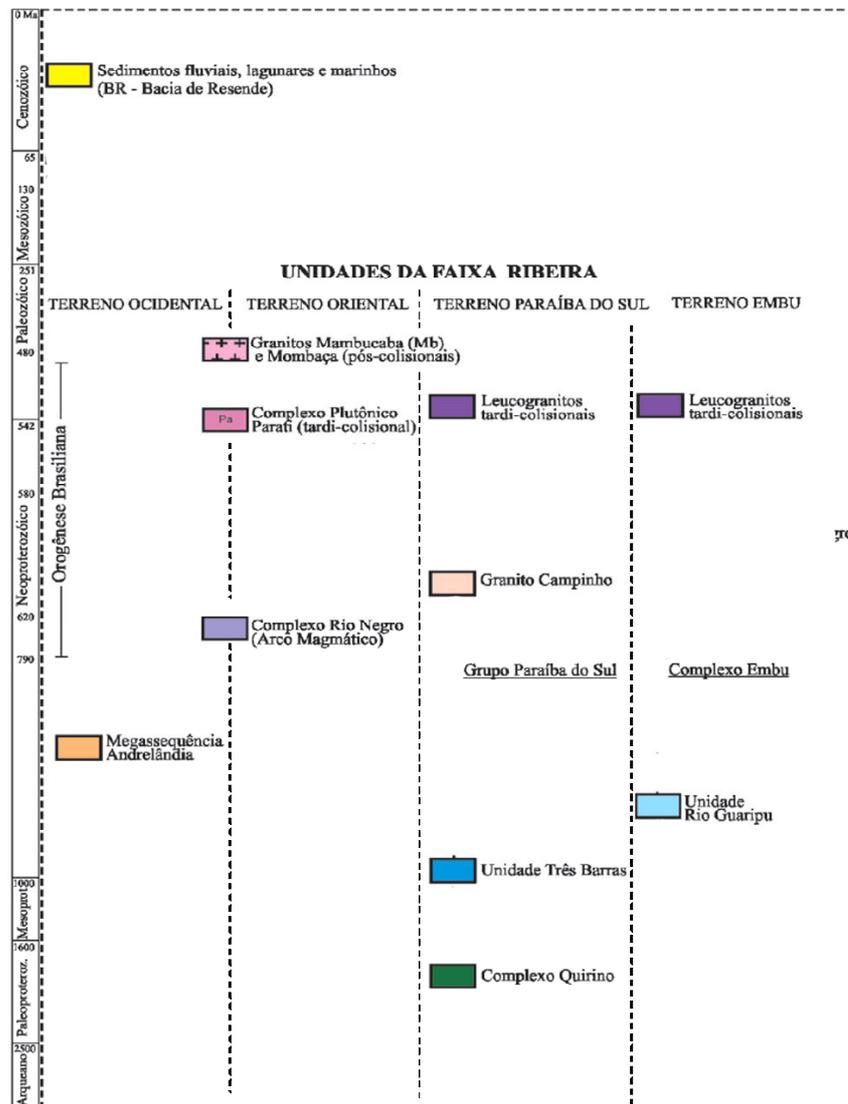


Figura 4 – Coluna Tectono-estratigráfica das unidades aflorantes no município de Paraty (modificado de EIRADO et al., 2006).

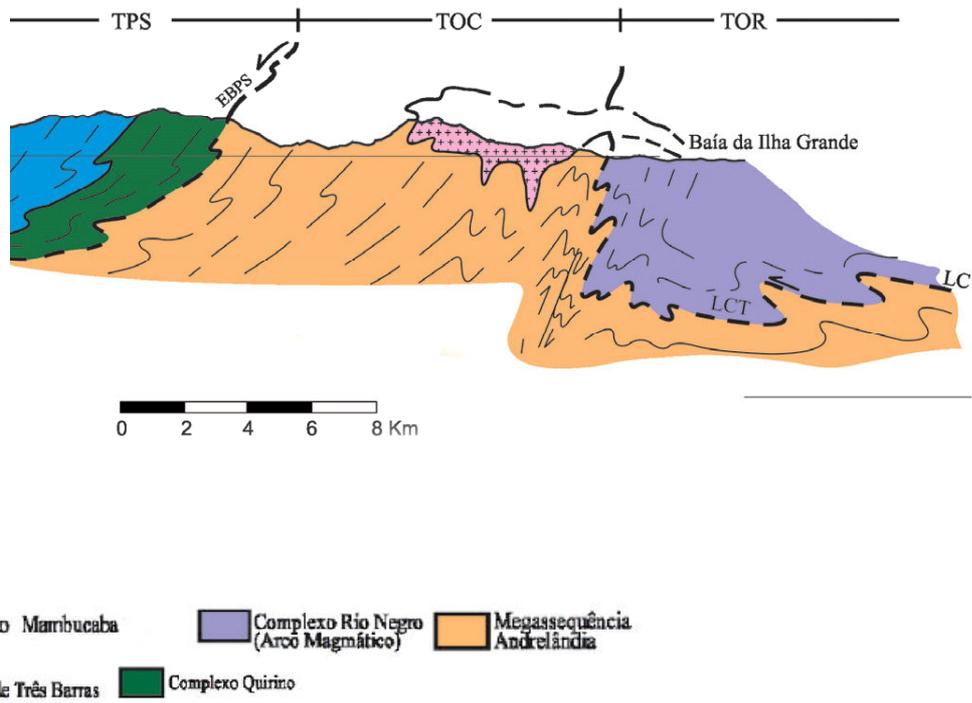


Figura 5 - Perfil geológico-estrutural perpendicular à costa na divisa dos municípios de Paraty e Angra dos Reis até a divisa com o município de Cunha. Abreviaturas: TPS - Terreno Paraíba do Sul, TOC - Terreno Ocidental, TOR - Terreno Oriental, LTC - Limite Tectônico Central, EBPS - Empurrão Basal do Terreno Paraíba do Sul. Simplificado de Eirado et al. (2006)

As descrições das unidades tectono-estratigráficas a seguir, foram resumidas de Eirado et al. (2006), complementadas no referente aos sedimentos quaternários pelo texto extraído de Brasil (2000). A ordem utilizada na apresentação das unidades segue as idades U/Pb, obtidas por diversos autores citados em Eirado et al. (2006), sempre da base para o topo.

O Complexo Quirino corresponde ao embasamento do Terreno Paraíba do Sul é composto por biotita gnaiss indetermados, migmatitos graníticos e granodioríticos e ortognaisses paleoproterozóicos com herança arqueana. Observe-se que gnaisses desta unidade se assemelham aos ortognaisses encontrados no Terreno Oriental, tanto nas rochas do Complexo Rio Negro como nos granitóides sin-colisionais.

O Grupo Paraíba do Sul sobrepõe-se ao Complexo Quirino e é subdividido em três associações litológicas, truncadas a oeste por zona de cisalhamento. Destas, aflora na região a Unidade Três Barras, composta por biotita gnaiss bandado migmatítico, intercalações de

granada-sillimanita-muscovita-biotita gnaiss, xisto, lentes de rochas calciossilicáticas e gnditos.

Do Terreno Embu afloram no município de Paraty rochas da Unidade Rio Guaripu, base do Complexo Embu, constituída de gnaisses e xistos, com intercalações de calciossilicáticas, quartzitos micáceos, e, raramente, mármore e anfíbolitos. Os gnaisses xistosos possuem composição semi-pelítica a pelítica e, normalmente, apresentam leucossomas anatéticos.

As rochas do Terreno Ocidental afloram, principalmente, na escarpa atlântica da Serra da Bocaina e na zona costeira e são representadas por uma sucessão metassedimentar de alto grau, constituída por gnaisses ora mais ora menos bandados, migmatitos e freqüentes intercalações de camadas e lentes de rochas cálcio-silicáticas, quartzitos impuros e raros gnditos. A sequência associa-se à Megassequência Andrelândia, de idade neoproterozóica. São freqüentes níveis métricos de gnaisses ou granitóides foliados relacionados à fusão parcial dos metassedimentos na etapa sin-colisional.

Já o Terreno Oriental aflora junto à costa e é constituído por ortognaisses bandados, migmatíticos, do Complexo Rio Negro e por diversas rochas granitóides sin a pós-colisionais. Estas rochas correspondem a plutons gerados durante a subducção para leste da litosfera oceânica da Placa São Francisco. São ainda encontrados no interior do Complexo Rio Negro granitos foliados gerados na etapa sin-colisional pela fusão dos ortognaisses do Complexo Rio Negro.

Seguem-se os granitos tardi-colisionais, representados pelo Complexo Plutônico Paraty, que aflora desde o litoral de Parati até o planalto da Serra da Bocaina. É formado principalmente por granito porfirítico com porções charnockíticas e enclaves dioríticos e está intrudida nos quatro terrenos, ou seja, após o estabelecimento da compartimentação tectônica da região. Predomina (hornblenda)-titanita-biotita granito com fraca foliação, mais marcante

nas bordas do corpo e sub-concordante com a foliação das rochas encaixantes. A idade mais precisa desta unidade continua em aberto, mas é suposta como cambriana. Do Cambriano, como indicam datações U/PB, são os pequenos corpos alongados de leucogranitos aflorantes no Terreno Paraíba do Sul. Trata-se de muscovita-biotita granito cinza claro homogêneo, com foliação subvertical incipiente, geralmente associada a zonas de cisalhamento.

Como fazer o mapa geológico do município estava fora do escopo da pesquisa, optou-se por adotar um mapa da literatura. Dois mapas cobriam o total do município, o do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina – PMPNSB - (BRASIL, 2000) e o da Geologia do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001), enquanto o de Eirado et al. (2006) não cobria parte considerável do sul do município. Há importante similaridade dos contatos geológicos dos mapas do PMPNSB e da CPRM e certa similaridade nas características litológicas das unidades descritas. Apenas o primeiro, entretanto, individualiza os sedimentos colúvio-aluvionares, cuja identificação é importante para a pesquisa, pois sua suscetibilidade a movimentos de massa é alta e se distingue entre os demais sedimentos quaternários. Optou-se assim por utilizar o mapa geológico do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000).

A geologia apresentada no PMPNSB não discute a crono-estratigrafia ou a tectônica, atendo-se apenas a uma seqüência litoestratigráfica genérica, dividida entre sedimentos cenozóicos e rochas proterozóicas, divididas, da base para o topo, em Complexo de Alto Grau (não-aflorante no município de Paraty), Complexo Gnáissico-Granitóide e Seqüência Metavulcanossedimentar. Correlacionar as unidades mapeadas nos mapas do PMPNSB e de Eirado et al. (2006) é difícil, pois rochas de diferentes idades estão agrupadas no primeiro, notadamente em função de suas características litológicas e, indiretamente, geotécnicas, que é o aspecto de interesse para esta pesquisa de mestrado. Do ponto de vista estrutural, as duas principais estruturas rúpteis indicadas em Eirado et al. (2006) (Empurrão Basal do Terreno

Paraíba do Sul e Zona de Cisalhamento Rio do Gavião) estão presentes, como zonas de cisalhamento e/ou falhas não especificadas, no mapa do PMPNSB. Outras zonas de cisalhamento e/ou falhas deste mapa coincidem com contatos entre unidades no mapa de Eirado et al. (2006). Considerando que ambas as estruturas são zonas de fraqueza não há perda significativa para a abordagem desta pesquisa.

Na Figura 6 apresenta-se o Mapa Geológico do município de Paraty, extraído do PMPNSB e a seguir apresenta-se resumidamente a descrição das litologias cartografadas constantes daquele documento e presentes na área de estudo.

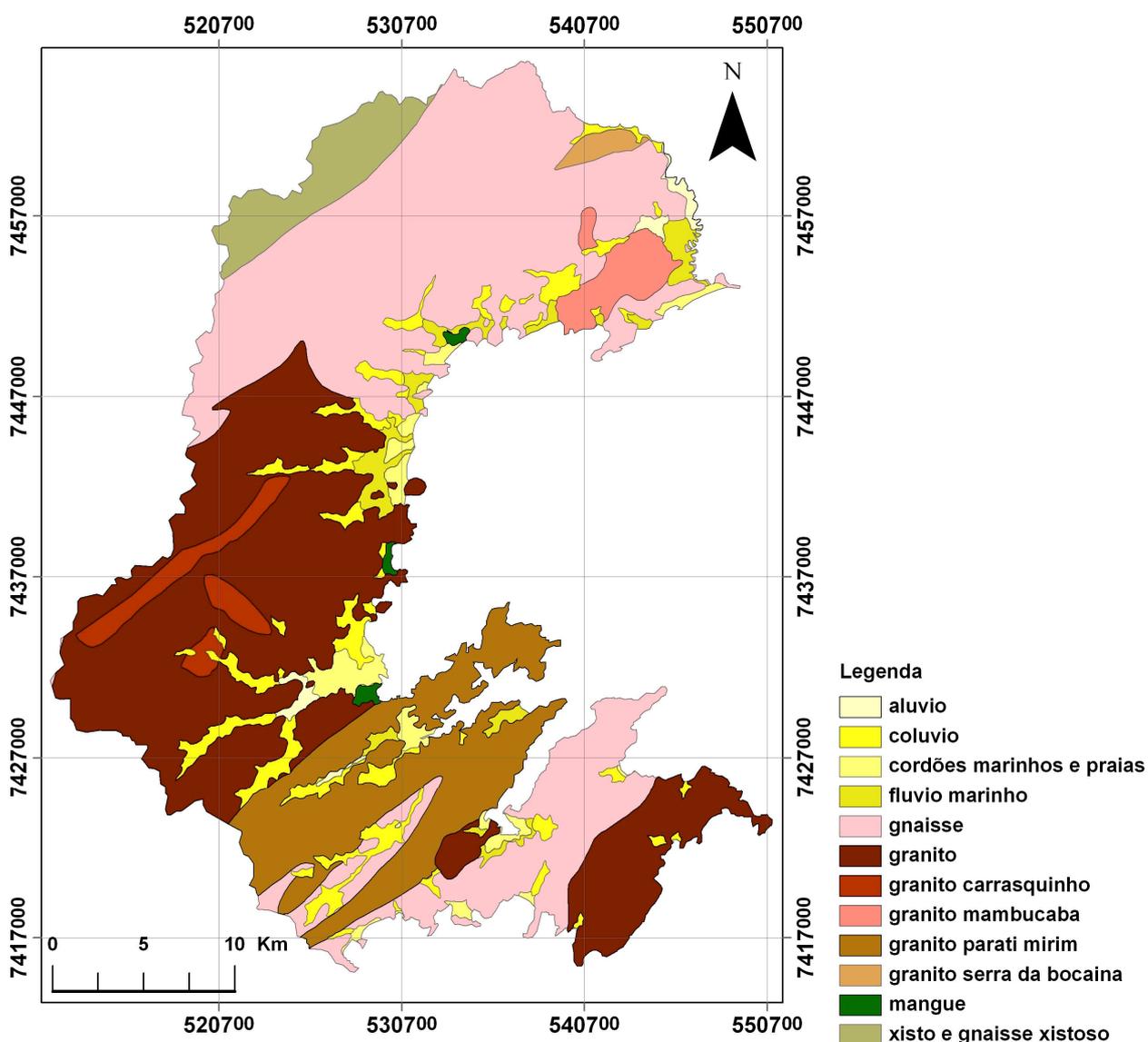


Figura 6 - Mapa litológico do Município de Paraty. Extraído do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000)

Segundo Brasil (2000), a geologia local é dada por rochas proterozóicas da Sequência Metavulcânica-Sedimentar (xistos) e do Complexo Gnaissico-Granitoide (granitos e gnaisses). Ocorrem também inúmeras zonas de cisalhamento e falhas, às quais se associam rochas milonitizadas e cataclasadas. Nas áreas de planície ocorrem sedimentos cenozóicos continentais, marinhos e mistos. A morfologia reflete a estrutura e a litologia, produzindo um relevo esculpido por dissecação diferencial

A unidade Xistos e Gnaisses Xistosos inclui moscovita xistos, moscovita-biotita xistos, quartzo-moscovita xistos, quartzo-biotita-moscovita xistos, sillimanita-quartzo-moscovita xistos e migmatitos heterogêneos de paleossoma dominante. Apresentam intercalações subordinadas de metarenitos finos, quartzitos, filitos, rochas cálcio-silicáticas e anfíbolitos. Os xistos dão origem a horizontes de alteração profundos, chegando a atingir espessuras maiores que 10 m. O solo superficial tem espessuras variáveis de 0,5 a 3,0 m, sendo delgado nos relevos mais movimentados e espesso nos relevos mais suaves. A textura é argilosa e argilo-siltosa.

Os gnaisses têm granulação média a grossa, textura granoblástica e xistosidade nítida. São constituídos por ortoclásio, plagioclásio e quartzo, biotita e hornblenda, tendo como acessórios granada e illmenita. Englobam os seguintes tipos petrográficos: biotita-gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses, hornblenda-gnaisses, gnaisses graníticos, gnaisses quartzítico, com inclusões de anfíbolitos. A foliação tem direção nordeste e apresenta dobramentos localizados.

Os granitos têm ocorrência generalizada na região. Dentro desta unidade ocorrem: biotita granitos porfíricos, leucocráticos, foliados a miloníticos, de granulação média a porfíricos; anfíbólio granito mesocrático, de granulação fina a média e granitos tonalíticos com anfíbólio, porfíricos de granulação grossa, os quais formam inúmeros corpos isolados dentre os quais destacam-se como aflorantes na área de estudo o Granito Parati-Mirim, o

Granito Mambucaba e o Granito Carrasquinho. Associadas a essas rochas é comum a presença de encostas rochosas e a formação de campos de blocos e matacões, com diâmetros de 0,6 a 3 m, na superfície do terreno e emersos no solo de alteração. A alteração dessas rochas resulta na formação de solos areno-siltosos ou argilo-siltosos e micáceos, em função do teor de quartzo e feldspato das rochas. O solo superficial é argilo-arenoso e apresenta espessuras de 1 a 2 m enquanto o solo de alteração pode atingir de 10 a 15 m de espessura nos relevos mais suaves. Nos relevos de Escarpas e Montanhas o solo superficial tem 0,5 m de espessura, enquanto que o solo de alteração é mais delgado, com espessuras inferiores a 5 m.

Os Sedimentos Colúvio-Aluvionares formam corpos de tálus e cones de dejeção formados por blocos e matacões gnáissicos e graníticos. Os cones de dejeção ocorrem ao longo das principais drenagens do planalto e no sopé das escarpas, onde processos fluviais influenciaram na formação destes.

Os Sedimentos Aluvionares são arenosos e areno-argilosos e com cascalhos e ocorrem nas planícies fluviais, estreitas e isoladas, sempre associadas a presença de alvéolos. Esses depósitos apresentam-se inconsolidados, associados a sedimentos turfosos devido à presença de áreas sujeitas a alagamentos.

Existem também os Sedimentos Flúvio-Marinhos provenientes do retrabalhamento e deposição fluvial sobre sedimentos marinhos da planície costeira e os sedimentos de Cordões Marinhos e Praias, formados por areias finas de quartzo, micas e opacos, associados a cordões arenosos pré-atuais da Planície Costeira, enquanto as praias atuais são constituídas por areias com granulometria variando de acordo com o perfil da praia. Finalmente, os depósitos de mangue são representados por silte, argila e matéria orgânica na planície de maré ao longo de alguns rios e com influência marinha.

2.2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.2.1- A IMPORTÂNCIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa predominam na evolução das encostas como agentes da formação do relevo e da paisagem e ocorrem constantemente em todas as condições climáticas (LOPES, 2003). Porém nas regiões tropicais o acúmulo de energia os torna mais agressivos (CONTI, 2002). Em regiões serranas intensamente ocupadas, aos movimentos de massa originados naturalmente somam-se aqueles induzidos pela ocupação humana e pelas modificações realizadas por esta (CREPANI; MEDEIROS, 2000). Isso resulta num aumento da ocorrência movimentos de massa afetando as regiões urbanas instaladas em áreas montanhosas (DIAS; HERRMANN, 2002).

No território brasileiro predominam os riscos geológicos exógenos associados à dinâmica superficial (PRANDINI et al., 1995), principalmente a processos e fenômenos de movimentos de massa, erosão linear, enchentes e inundações (BITAR, 2004). Baseando-se nas características geológicas, geomorfológicas e climáticas do Brasil e nos processos socioeconômicos verificados no país (urbanização intensa e grande concentração de população de baixa renda), os escorregamentos são um dos processos mais importantes associados à dinâmica superficial do território brasileiro (AUGUSTO FILHO, 1995). Esta importância resulta da elevada frequência e da grande extensão de área suscetível a esses processos.

2.2.2 - TIPOS DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Na dinâmica superficial terrestre o transporte de material sólido se dá através de dois processos, movimentos de transporte de massa (transportado por um meio: água, gelo ou ar) e movimentos gravitacionais de massa (induzidos pela aceleração da gravidade) sem a contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo (DIAS; HERRMANN, 2002).

Neste último se enquadram os escorregamentos e processos correlatos (HUTCHINSON, 1968 apud AUGUSTO FILHO, 1994; SELBY, 1990 apud DIAS; HERRMANN, 2002). Nos climas tropicais úmidos a água geralmente está envolvida em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos, alterando o equilíbrio entre as tensões no interior da massa, controlado principalmente pelo teor de água e pelo teor e estrutura interna das porções argilosas (CRUZ, 1974; DIAS; HERRMANN, 2002). O plano de ruptura da força de coesão da massa geralmente está relacionado a descontinuidades mecânicas e/ou hidráulicas, localizando-se preferencialmente nos contatos entre o solo, o saprolito e a rocha sã.

Existe uma enorme quantidade de classificações e muitos autores, dentre eles Dias e Herrmann (2002), que fazem referência a numerosos trabalhos que, desde o século XIX, procuram estabelecer classificações para os movimentos de massa como Baltzer (1875), Heim (1882), Penck (1894), Molitor (1894), Brawn (1908), Howe (1909), Almagia (1910), Stini (1910), Terzaghi (1925), Pollack (1925), Ladd (1935), Hennes (1936), Sharpe (1938), Varnes (1958), Freire (1965), Ter-Stepanian (1966), Skempton e Hutchinson (1969).

Algumas classificações se baseiam simplesmente na presença ou ausência de uma superfície de ruptura preexistente ou em um mecanismo de ruptura progressiva. Outros correlacionam o tipo e a velocidade da movimentação com a natureza do material da massa em movimento, procurando estabelecer associações entre esse material e os ambientes geomorfológicos e climáticos. Observe-se que existem diversas classificações significativamente diferentes pela falta de um critério único, pois os autores dão importâncias diferenciadas aos parâmetros associados.

Entre as diversas classificações, há duas muito semelhantes, a de Sharpe (1938) e a de IPT (1991). A classificação de Sharpe considerada a primeira que buscou obter uma maior abrangência entre as diferentes formas de abordar os escorregamentos, considera parâmetros

como velocidade do movimento, tipo de material e quantidade de água ou gelo envolvidos (DIAS; HERRMANN, 2002). De alguma maneira todas as classificações criadas posteriormente foram por ela influenciadas, inclusive a criada em 1991 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), que elaborou uma classificação mais simplificada, largamente utilizada no país (DIAS; HERRMANN, 2002) e aqui adotada. Nela os movimentos de massa são subdivididos em rastejos (creep), escorregamentos (slides), quedas (falls) e corridas (flows) diferenciando-se em função da geometria e/ou cinemática e/ou tipo de material destes processos (IPT, 1991; AUGUSTO FILHO, 1995; FEITOSA, 2000; ARAÚJO, 2004).

Os rastejos (talus-creep, soil-creep, rock-creep) são movimentos lentos, de poucos centímetros/ano, mais rápidos na superfície e gradualmente mais lentos com a profundidade (até a imobilidade) e podem preceder movimentações mais rápidas, como os escorregamentos (CREPANI; MEDEIROS, 2001; DIAS; HERRMANN, 2002). Também são incluídos neste grupo o rastejo em solos de alteração e o rastejo em corpos de tálus, geralmente em baixas declividades. Os rastejos não apresentam superfície de ruptura definida (plano de movimentação) e podem ser verificados pela ocorrência de trincas que evoluem lentamente no terreno natural e pela ocorrência de inclinação na vegetação (BRASIL, 2007).

Os escorregamentos (landslides, rock-slide, debri-slide, slump) são caracterizados por movimentos rápidos e de curta duração, variando de metros/hora a metros/segundo. Possuem limites laterais e superfície de ruptura bem definidos (IPT, 1991). Podem envolver materiais como solo, saprolito, rocha e depósitos de tálus e são subdivididos em função destes e do mecanismo de ruptura e de sua geometria (BRASIL, 2007). Podem ser escorregamentos planares ou translacionais circulares ou rotacionais, em cunha e induzidos. Sua geometria varia com a existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação das superfícies de ruptura.

Os escorregamentos planares ou translacionais em solos ocorrem frequentemente nas encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em vertentes com altas declividades e com solos pouco desenvolvidos e são o tipo de movimento de massa mais comum nas encostas cobertas por solos (DIAS; HERRMANN, 2002). São associados à dinâmica hidrológica mais superficial e apresentam superfície de ruptura com forma planar que geralmente acompanha descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas do material, como acamamentos, foliações, falhas, fraturas ou contatos entre rocha, saprolito ou solo e colúvio. Costumam ser deflagrados durante eventos pluviométricos de alta intensidade quando há uma intensa saturação (DIAS; HERRMANN, 2002) (Figura 7).

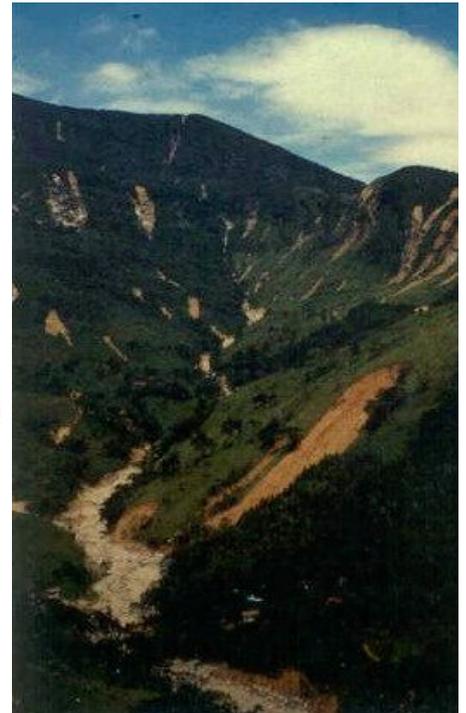
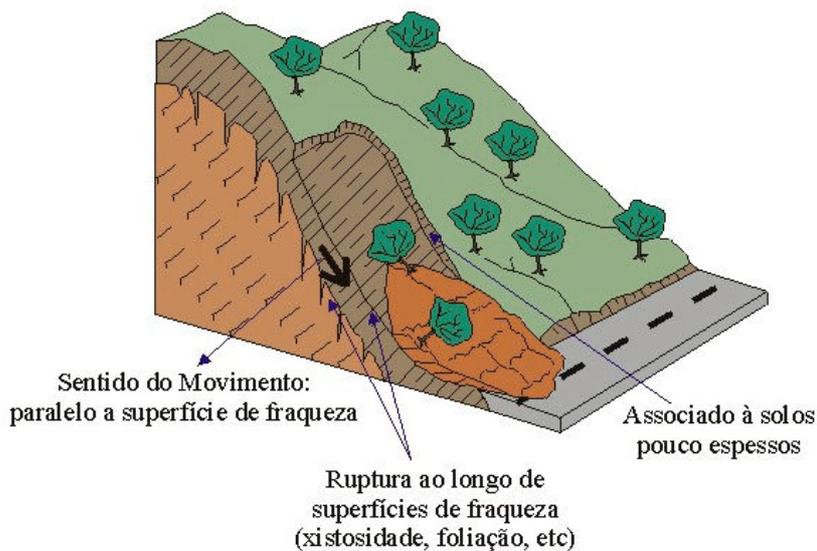


Figura 7 - Escorregamentos planares ou translacionais em solos (retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>)

Os escorregamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de ruptura curvas, podendo ocorrer uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Figura 8). São escorregamentos geralmente associados a aterros, solos ou depósitos mais espessos e rochas

sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os escorregamentos translacionais. (BRASIL, 2007). Muitas vezes estão relacionados a cortes em encosta pela erosão fluvial ou ação antrópica e geralmente são deflagrados após eventos chuvosos (DIAS; HERRMANN, 2002).

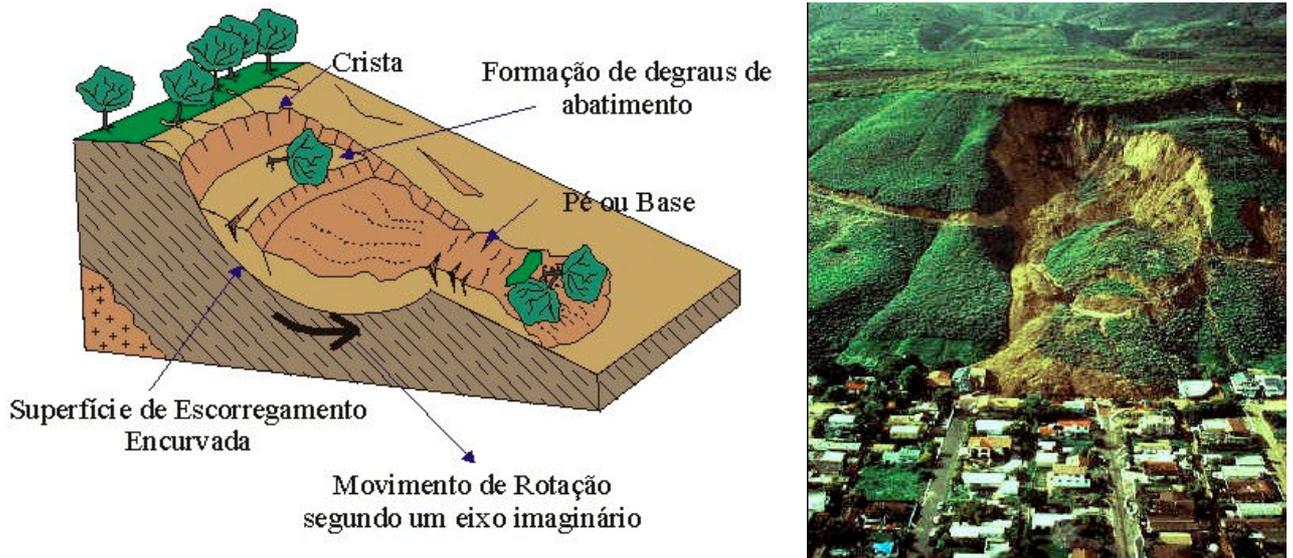


Figura 8 - Escorregamentos circulares ou rotacionais (retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>)

Os escorregamentos em cunha (Figura 9) estão associados a saprolitos e maciços rochosos, onde o deslocamento é condicionado pela existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade. Os escorregamentos induzidos ou causados pela ação antrópica são gerados pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, entre outras interferências humanas. Muitas vezes mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação como lixo e entulho (BRASIL, 2007).

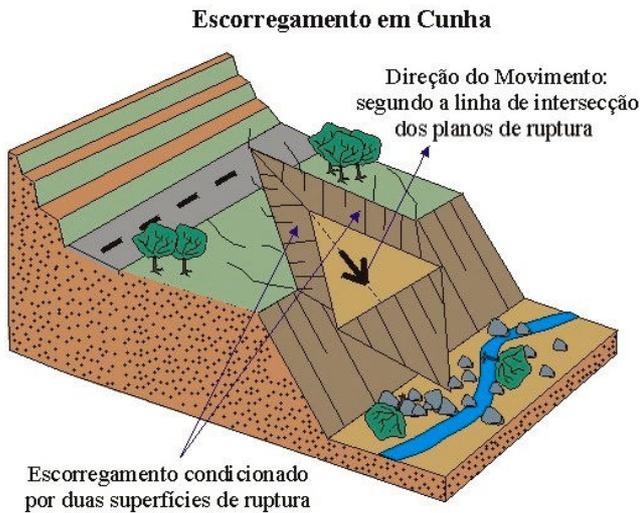


Figura 9 - Escorregamentos em cunha (retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>)

As quedas (rock fall, debri-fall) são movimentos rápidos da ordem de metros/segundo. Envolvem a queda livre ou o salto e rolamento ao longo de planos inclinados com declividades muito altas de blocos e/ou fragmentos de rocha (Figura 10). Não possuem uma superfície de deslizamento (IPT, 1991; CREPANI; MEDEIROS, 2001). São movimentos resultantes da ação do intemperismo físico e químico nas discontinuidades das rochas, representadas por falhas, fraturas e bandamento metamórfico ou sedimentar (DIAS; HERRMANN, 2002) e condicionados à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, com vegetação rala, concretação de matacões e fraturamento associado (FONTELES; VERÍSSIMO; COLARES, 2001).

Outros processos envolvendo afloramentos rochosos são o tombamento e o rolamento de blocos. Os tombamentos ou basculamentos são movimentos mais lentos que as quedas, e acontecem em encostas/taludes íngremes de rocha com discontinuidades verticais. Em geral ocorrem principalmente em taludes de corte que, ao interferirem na geometria da encosta, acabam aflorando suas discontinuidades e propiciando o tombamento das paredes do talude (IPT, 1991; BRASIL, 2007). Os rolamentos de blocos ou de matacões são comuns em áreas

de rochas graníticas, pois estas possuem maior predisposição a formar matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície. Podem ocorrer naturalmente quando processos erosivos removem o apoio de sua base ou pela escavação e a retirada do apoio, decorrente da ocupação desordenada de uma encosta, sendo esta a forma mais comum no seu desencadeamento (BRASIL, 2007).

As corridas de massa (earth-flow, mud-flow ou debris flow) são movimentos complexos ligados a grandes eventos pluviométricos (Figura 10). Geralmente os materiais envolvidos são transportados ao longo de canais de drenagem e se comportam como um fluido altamente viscoso (DIAS; HERRMANN, 2002). Estes fenômenos possuem alto poder destrutivo e de transporte, e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas, podendo mover-se encosta abaixo em velocidades de dezenas de quilômetros por hora. Pode ser o resultado de pequenos escorregamentos que se deslocam em direção aos corpos d'água, o que torna difícil a distinção entre estes dois tipos de movimento (DIAS; HERRMANN, 2002). Pode também ser chamado de solifluxão (literalmente fluxo de solo) (SHARPE, 1938).

Os movimentos gravitacionais de massa são, portanto, o resultado de diferentes mecanismos atuando sobre diferentes tipos de materiais e podem envolver variações em seus condicionantes tanto naturais quanto antrópicos (ARAÚJO, 2004). Dessa forma o conhecimento sobre os diferentes tipos é fundamental para a construção de modelos e para a interpretação da relação entre condicionante e probabilidade de ocorrência de eventos dessa natureza.

Dentre todos os tipos, são os escorregamentos os mais importantes no território brasileiro (AUGUSTO FILHO, 1995). As áreas montanhosas do Rio de Janeiro são suscetíveis a rastejo (creep), escorregamento translacional e debris flow. No presente estudo foram considerados apenas os escorregamentos planares ou translacionais (COELHO-NETTO et al., 2006), considerados como os fenômenos de movimentos de massa dominantes na Serra

do Mar, juntamente com a queda de detritos, como defende a maioria dos autores de estudos sobre os movimentos gravitacionais de massa nessa cadeia montanhosa (AMARAL, 1997 apud FERNANDES et al., 2001; ARAÚJO, 2004; RIEDEL et al., 2007).

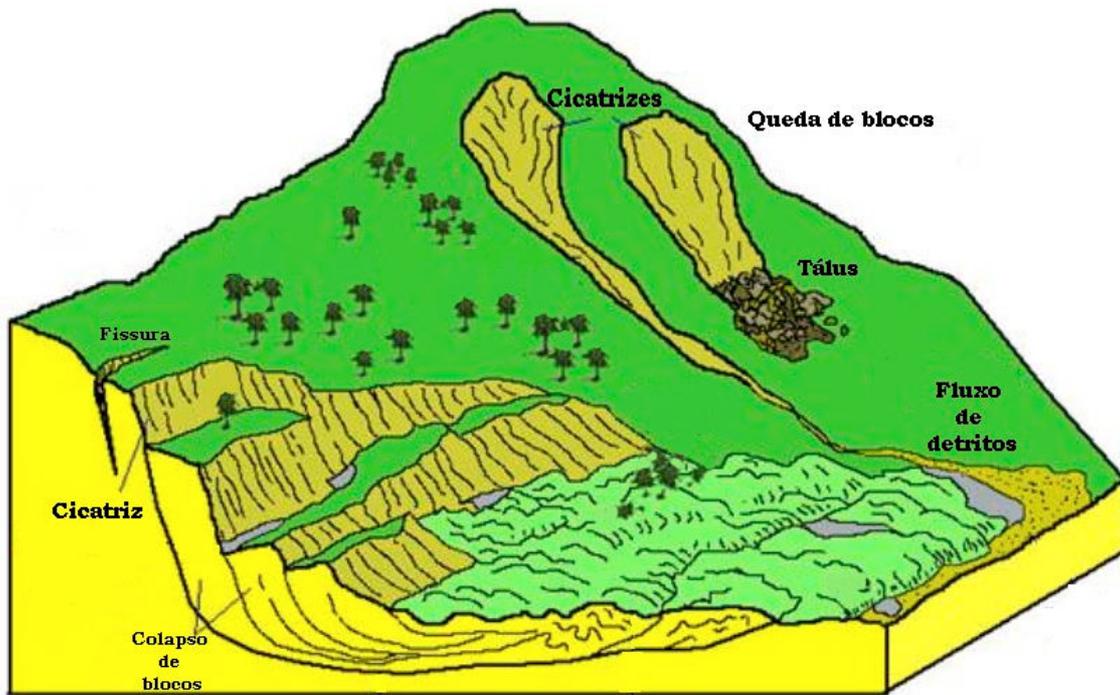


Figura 10 – Exemplos de outros movimentos de massa (extraído de 3dparks.wr.usgs.gov/landslide/types.htm)

2.2.2 - FATORES CONDICIONANTES

As encostas são um tipo de relevo que possui comportamento dinâmico (FEITOSA, 2000) e sua estabilidade está ligada a uma série de fatores naturais relacionados à formação geológica do maciço, sua evolução estrutural (MANTOVANI; SOETERS; VAN WESTEN, 1996; MACHADO FILHO, 2000; CARRARA; PIKE, 2008), e às interferências ambientais ou antrópicas (FEITOSA, 2000).

Segundo Varnes (1978, apud ARAÚJO, 2004), os movimentos de massa apresentam, em geral, uma série de causas e efeitos e um simples fator pode desencadear o movimento. Mas nenhum fator ou causa pode ser considerado único na deflagração de um processo, mesmo que este seja necessário para sua ocorrência (PASSARELLA; MACHADO, 2007). Os

movimentos de massa são influenciados por determinados agentes ou fatores controladores divididos em agentes predisponentes e efetivos (FEITOSA, 2000).

Os predisponentes são conjuntos de condições geológicas, geométricas e ambientais, ou seja, apenas as condições naturais e características do relevo (GUIDICINI; NIEBLE, 1984) como geologia, geomorfologia, pedologia, características morfológicas das encostas, complexo hidrológico-climático influenciando no intemperismo físico-químico e químico, gravidade e vegetação (PASSARELLA; MACHADO, 2007). Estes podem influenciar os processos erosivos atuantes nas encostas, as condições de infiltração e retenção de água no solo (ROSSI; PFEIFER, 1999). Os condicionantes naturais considerados nesses estudos foram declividade, curvatura e orientação das encostas e geologia.

Os agentes efetivos, também conhecidos como “gatilho”, são aqueles que deflagram o fenômeno. Podem ser de cunho preparatório ou imediato. Os agentes efetivos preparatórios consideram a pluviosidade, a erosão pluvial, fluvial e eólica, a variação de temperatura e umidade, a ação de fontes ou mananciais, a oscilação do nível do lençol freático, sismicidade e a ação antrópica e de animais. Os agentes efetivos imediatos consideram as chuvas intensas, chuvas subsequentes a períodos de pluviosidade prolongada, vibrações, fusão do gelo e neve, terremotos, ondas, vento, e, eventualmente, a ação antrópica e a erosão (PANIKKAR; SUBRAMANYAN, 1996; FEITOSA, 2000; LOPES, 2003). Os agentes efetivos considerados nesse estudo foram o uso e cobertura do solo, ou seja, influência antrópica, e precipitação.

A interação entre os fatores predisponentes e efetivos, principalmente no verão, é determinante para a ocorrência de escorregamentos em uma região e podem ser influenciados pelo uso e ocupação desordenada do solo (SOARES, 2006).

2.2.4 - AGENTES PREDISPOONENTES

2.2.4.1 – A DECLIVIDADE

A declividade é um componente essencial e decisivo para a análise da estabilidade de encostas (LEE; CHOI; MIN, 2002; VIEIRA; FURTADO, 2004). Esta é expressa em graus (0° quando horizontal a 90° quando vertical) ou em porcentagem e está intimamente relacionada à suscetibilidade a escorregamentos (MARTINI et al., 2006; FERREIRA et al., 2008). Assim, com declividade de 0° não há força atuante e a 90° esta força é máxima, igual à força da gravidade, como largamente citado.

O aumento da declividade é diretamente proporcional ao aumento da probabilidade da ocorrência de escorregamentos (NEWERLA, 1989; LEE; MIN, 2001; LEE; CHOI, 2004; PEROTTO-BALDIVIEZO et al., 2004; PRADHAN; SINGH; BUCHROITHNER, 2006) o que a torna um componente essencial para o estudo da estabilidade de encostas (LEE; CHOI; MIN, 2002), induzindo tanto a velocidade como a intensidade do deslocamento de massas de solo e blocos de rocha ao longo de encostas (DIAS; HERRMANN, 2002). Acrescente-se que as intervenções no relevo em declividades elevadas exigem corte e aterros com alturas excessivas, facilitando a ocorrência de erosão e escorregamentos de origem antrópica (FEITOSA, 2000).

Nem sempre o maior número de escorregamentos ocorre nas áreas mais íngremes, já que outros parâmetros aí intervêm como variações na cobertura vegetal, na espessura do solo (que em geral decresce com o aumento da declividade) e nos afloramentos rochosos desprovidos de cobertura superficial, geralmente presentes em declividades muito altas (LEE; MIN, 2001; DIAS; HERRMANN, 2002). Este fato que não foi corroborado por Ferreira et al. (2008), que em seu estudo indicou que a concentração de cicatrizes foi igual na classe de 30° a 45° e acima de 45° . Já Cruz (1974) mostra que nos grandes movimentos de massa ocorridos em 1967 em Caraguatatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, estes ocorreram

predominantemente em declividades acima de 40% (21,80°), independentemente da cobertura florestal ou da ocupação humana (VIEIRA; FURTADO, 2004).

Para solucionar a relação entre o aumento da ocorrência de escorregamentos com a declividade, diversos autores propuseram calcular o ângulo limite de declividade até o qual a ocorrência de escorregamentos aumenta e a partir do qual estas diminuem. Neste sentido Fernandes et al. (2001) sugerem limites críticos de 55° ou 143% para as bacias dos rios Quitite e Papagaio – RJ enquanto, Lopes et al. (2007) propõe para a Serra do mar, na região de Cubatão – SP, um intervalo crítico entre 35°- 40°, já que aí verificaram um maior número de cicatrizes. Já Fernandes et al. (2004) encontraram vertentes com ângulos entre 37,1° e 55,5° no maciço da Tijuca e reportaram mais cicatrizes entre 18,6° e 37°. Segundo (NEWERLA, 1989), limites críticos podem ser calculados o que, entretanto, não impede que as declividades acentuadas sejam consideradas fortes condicionantes.

Outras variáveis topográficas, além da declividade, devem ser levadas em conta (FERNANDES et al., 2004), como a forma da vertente. Esta também influencia na suscetibilidade a escorregamentos sendo, junto com a declividade, um dos dois fatores que mais influenciam a ocorrência de escorregamentos (ARAÚJO, 2004; LOPES et al., 2007).

2.2.4.2 - FORMA DE VERTENTES

A forma das encostas é um fator importante na estabilidade de encostas e na distribuição espacial dos escorregamentos (FERNANDES et al., 2001, 2004), pois gera zonas de convergência e divergência dos fluxos d'água superficiais e subsuperficiais (DIAS; HERRMANN, 2002; DAI; LEE, 2002). As encostas podem ser classificadas em encosta côncava, convexa e retilínea. Nas encostas côncavas a declividade tende a crescer com a altitude, nas convexas tende a diminuir e nas retilíneas a declividade se mantém constante (FEITOSA, 2000). Ao se analisar cartas de curvatura de encostas, observa-se que os valores

negativos correspondem às côncavas, os valores próximos a zero retilínea e os valores positivos correspondem às convexas (LEE; CHOI, 2004).

Segundo Fernandes et al. (2001), as porções côncavas seriam mais sujeitas a escorregamentos que as convexas e retilíneas, pois representariam convergência de fluxos superficiais e sub-superficiais, o que leva a uma maior instabilidade. Existem, porém, divergências entre especialistas sobre como os diferentes tipos de encostas atuam nessa estabilidade. Alguns autores, como Dias e Herrmann (2002) e Araújo (2004), consideram as encostas retilíneas como as mais perigosas devido à declividade relativamente constante ao longo de seu perfil, o que facilita o deslocamento rápido de materiais superficiais. Outros autores, como Tatizana et al. (1987) e Knapen et al. (2006), indicam serem as encostas retilíneas e as côncavas como as mais favoráveis a movimentos de massa. Já Lopes et al. (2007), apesar de considerarem as encostas planas como as mais suscetíveis, afirmam que estas são seguidas igualmente pelas encostas côncavas e convexas. Araújo (2004) acrescenta que na dependência da escala de trabalho uma mesma encosta poderá ter segmentos de formas diferentes, sugerindo a utilização de um modelo numérico ou digital do terreno com boa resolução.

Os pesquisadores que encontraram maior suscetibilidade a escorregamentos nas encostas côncavas são muito mais numerosos, como Reneau et al. (1984), Pedrosa et al. (1988), Avelar e Coelho Netto (1992), Fernandes et al. (2001), Lee e Min (2001), Dai e Lee, (2002), Lee et al. (2003c), Couto et al. (2005) e Lee e Dan (2005). Estes autores argumentam que as encostas côncavas ao concentrarem o fluxo de água, representariam convergência de fluxos superficiais e subsuperficiais. Ou seja, na ocorrência de chuvas fortes as vertentes côncavas recebem mais água e a retêm por mais tempo. Segundo Fernandes et al. (2001) em encostas côncavas a possibilidade da ocorrência de escorregamentos é três vezes maior que nas convexas e retilíneas. Em função da variedade de resultados encontrados na literatura será

adotado o padrão mais comum dentro do universo consultado, coincidente com o apresentado por (AUGUSTO FILHO, 2005): em ordem decrescente de suscetibilidade as encostas se classificam em côncavas (elevada suscetibilidade), convexas (média) e planas (baixa).

2.2.4.3 - ESTRUTURAS GEOLÓGICAS

A litologia e as estruturas geológicas como falhas, fraturas, acamamento e foliação metamórfica são um fator muito importante na estabilidade das encostas (COUTO et al., 2005). Machado Filho (2000) em estudo feito na Serra do Mar, no município de Cubatão, salienta que os lineamentos estruturais e planos de descontinuidades são claramente condicionantes da estabilidade geral das encostas. De uma forma geral as estruturas tendem a fragilizar o comportamento geotécnico de qualquer litologia, pois condicionam o surgimento de descontinuidades mecânicas e hidráulicas, que contribuem na ocorrência de escorregamentos (DIAS; HERRMANN, 2002; FERNANDES; AMARAL, 2003; FERNANDES et al., 2004; LEE; DAN, 2005; GOMES; SOBREIRA; CASTRO, 2007), que tendem a ocorrer longitudinalmente às juntas e planos de falhas (LEE; CHWAE; MIN, 2002b).

O estudo de Pradhan, Singh e Buchroithner (2006) propõe uma classificação onde a existência de até 1 lineamento caracteriza uma área com baixa suscetibilidade a escorregamentos, de 1 a 2 lineamentos suscetibilidade moderada e acima de 2 lineamentos alta suscetibilidade a escorregamentos, ou seja, áreas com grande densidade de lineamentos são mais suscetíveis. Como regra geral, quanto maior o fraturamento maior a instabilidade do terreno (TATIZANA et al., 1987). A ação da água nessas estruturas também pode levar a ocorrência de tombamentos e queda de blocos (DAL'ASTA; RECKZIEGEL; ROBAINA, 2005).

Muitos estudos consideram a distância do lineamento um condicionante importante na deflagração de escorregamentos, pois aí a penetração da água é mais eficiente, acelerando e aprofundando o efeito do intemperismo (LEE; CHOI, 2004; LEE; TALIB, 2005).

2.2.4.4 – LITOLOGIA

Segundo alguns autores como Fourniadis, Liu e Mason (2007), a litologia é um importante fator controlador dos movimentos de massa. Sua importância deve-se a diversos fatores, como a presença de anisotropias e o produto de seu intemperismo. Assim a litologia do substrato rochoso controla o tipo, as propriedades e a resistência ao cisalhamento do solo a ser formado a partir dele (SOARES; SOARES; FIORI, 2002). Por exemplo, a probabilidade de ruptura é maior em solos arenosos e com fragmentos rochosos e menor em solos argilosos, o que está relacionado com o tamanho dos grãos e a porosidade: quanto mais poroso o solo mais água pode conter e maior a suscetibilidade (LEE; MIN, 2001; LEE; CHOI, 2004), como o caso dos colúvios (DAI; LEE, 2002; LEE; CHOI, 2003; FERNANDES et al., 2004; DOMINGUÉZ-CUESTA; JIMÉNEZ-SÁNCHEZ; BERREZUETA, 2007).

Este sedimento caracteriza-se como um material desagregado, sem qualquer seleção granulométrica e de alta porosidade e que se encontra depositado instavelmente sobre a superfície côncava que o recebeu. Esta interface pode ser considerada uma descontinuidade hidráulica e, assim, particularmente propícia a escorregamentos. Além disso, sua heterogeneidade leva a propriedades hidráulicas diferentes, em outro parâmetro a aumentar tal suscetibilidade (COUTO et al., 2005; DAL'ASTA; RECKZIEGEL; ROBAINA, 2005).

Depósitos colúviais quando atingidos por chuvas fortes podem se saturar rapidamente, ocasionando rupturas súbitas de acordo com Lumb (1962c e 1975, apud SOARES, 2006), particularmente nas declividades médias ou altas, enquanto que nas baixas declividades a suscetibilidade é pequena (DAI; LEE, 2002).

Da mesma forma a intensidade de anisotropias é diretamente relacionada à suscetibilidade. Assim rochas com anisotropia acentuada, como gnaisses e xistos, têm alta suscetibilidade a escorregamentos (LEE; MIN, 2001).

2.2.5- OS AGENTES EFETIVOS

2.2.5.1- USO E COBERTURA DO SOLO

Os escorregamentos fazem parte da dinâmica natural das encostas íngremes e essencialmente independem da ação antrópica, mas essa pode acelerá-los e maximizá-los pelo uso e ocupação inadequada de áreas naturalmente suscetíveis aos movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1995; PRANDINI et al., 1995; FONTELES; VERÍSSIMO; COLARES, 2001; DIAS; HERRMANN, 2002; LOPES, 2003; DAL'ASTA; RECKZIEGEL; ROBAINA, 2005). As formas de uso do solo, principalmente em áreas ocupadas, podem ser decisivas na deflagração de movimentos de massa.

A ocupação humana pode ser exercida de diversas formas. A retirada da vegetação contribui para a rápida saturação do solo durante chuvas intensas, podendo alterar a coesão dos solos, ângulo de fricção interno, peso do solo e pressão poro-água, diminuindo a resistência ao cisalhamento (GÓMEZ; KAVZOGLU, 2005) e, por outro lado, aumenta o escoamento superficial e acelera processos erosivos, que expõem as raízes de árvores e descalçam blocos de rocha que podem ser instabilizados (DAL'ASTA; RECKZIEGEL; ROBAINA, 2005).

Segundo IPT (1988, apud LOPES et al., 2007) a vegetação impede o impacto direto da chuva no solo e retarda ou minimiza a quantidade de água por ele absorvida, impedindo que haja perda da coesão e aumento do peso específico do solo por umedecimento. As raízes aumentam a resistência do solo, diminuem a ação do escoamento superficial e retiram por absorção parte da água infiltrada no solo (SANTOS, 2002).

Embora a vegetação geralmente beneficie a estabilidade das encostas, pode também atuar de maneira negativo, com o efeito alavanca exercido pelos troncos, quando ventos atingem suas copas. Também pode desempenhar o efeito cunha, com as raízes penetrando nas fendas dos solos e rochas (GRAY; LEISER, 1982 apud ARAÚJO, 2004) e, finalmente, gerar sobrecarga nas encostas em áreas densamente florestadas (WOLLE, 1980). Panikkar e Subramanyan (1996), em seu estudo na Índia, reportam que 91% dos escorregamentos em sua área de estudo ocorreram em áreas não florestadas e Mehotra et al. (1996) reportam ter havido um aumento em 15% nas ocorrências com a retirada ou alteração da vegetação. Segundo Dias e Herrmann (2002) e Perotto-Baldiviezo et al. (2004) é em declividades acentuadas que a retirada da vegetação natural implica em maior aumento de suscetibilidade.

E de fato, a transformação de áreas florestadas em pastos com gramíneas, principalmente em vertentes côncavas e íngremes, aumenta a suscetibilidade por incrementar planos de descontinuidades hidráulicas em subsuperfície (COUTO et al., 2005). Evidentemente coberturas de gramíneas representam uma proteção à vertente comparativamente com solo exposto (DAL'ASTA; RECKZIEGEL; ROBAINA, 2005).

As atividades de pecuária, agricultura e existência de solo exposto são consideradas condicionantes de movimentos de massa (DOMINGUÉZ-CUESTA; JIMÉNEZ-SÁNCHEZ; BERREZUETA, 2007) e sua ocorrência aumenta com o aumento da declividade (PEROTTO-BALDIVIEZO et al., 2004). O problema característico associado à pecuária é o pisoteio do solo, que altera suas características (SANTOS; ARAÚJO; ASSUNÇÃO, 2003), mas as atividades agropecuárias em geral podem contribuir para a concentração de fluxos d'água superficiais e subsuperficiais, gerando zonas de saturação propícias à ocorrência de movimentos de massa. Um dos cultivos mais disseminados no município de Paraty é o da banana, que por possuir raízes superficiais é um cultivo bastante propício à ocorrência de

deslizamentos quando praticado em encostas de morros e serras, como é comum na área de estudo (SOARES, 2006).

Após o desmatamento, são variadas as ações antrópicas potencialmente destabilizadoras de encostas. Castro, Peixoto e Rio (2005) citam a execução de cortes e aterros inadequados para a construção de habitações, instalação de obras e habitações muito próximas à base ou ao topo dos taludes naturais ou de corte, lançamento superficial de águas servidas, alteração no escoamento superficial, concentração de águas pluviais e infiltração proveniente de fossas e tubulações que causam constante infiltração de água nos maciços e lançamento de entulhos e lixo nas encostas são ações antrópicas que aumentam a suscetibilidade natural a escorregamentos.

Tais ações são freqüentemente associadas ao crescimento desordenado das cidades, à especulação imobiliária e à existência de numerosa população pobre, gerando invasões para posse, motor da expansão urbana para áreas de risco como encostas íngremes naturalmente suscetíveis a escorregamentos. Para Foucher (1982, apud CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005) o simples crescimento demográfico aumenta a suscetibilidade natural. Na Tabela 1 estão sintetizadas duas classificações de classes de suscetibilidade propostas na literatura em função do uso do solo que demonstram como as ações antrópicas, em geral associadas ao crescimento demográfico, aumentam a suscetibilidade a escorregamentos.

Cabe ressaltar que locais que apresentam afloramentos rochosos não possuem solo, não apresentam risco de deslizamentos, mas de queda de bloco e concentração de fluxo logo abaixo dele (COUTO et al., 2005), onde podem se desenvolver escorregamentos. Os escorregamentos geralmente não estão associados a um único fator condicionante e sim a uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração, como os expostos acima. A interpretação direta e indireta desta complexa cadeia pode levar à identificação de locais suscetíveis a escorregamentos (SESTINI; FLORENZANO, 2004).

Tabela 1 – Classes de suscetibilidade a escorregamentos em função de diferentes coberturas vegetais. Modificado de Couto et al. (2005) e Vieira et al. (2007)

Trabalho	Suscetibilidade			
	baixa	média	alta	Muito alta
Couto et al. (2005)	florestas conservadas e iniciais	Campo	gramíneas e solo exposto	
Vieira et al. (2007)	floresta secundária capoeira	capoeira , reflorestamento de pinus	capoeirinha, reflorestamento eucalipto, palmito e samambaia	pastagens, pomar, quintal, solo exposto e área ocupada

2.2.5.2- PAPEL DA CHUVA NOS ESCORREGAMENTOS

Segundo Augusto Filho (1995) e Dias e Herrmann (2002), as chuvas são o principal agente não-antrópico causador de escorregamentos no Brasil, o que pode ser atestado pelo aumento desses eventos nos períodos chuvosos. Segundo IPT (1988, apud ARAÚJO, 2004), a chuva interfere de diversas maneiras, em relação ao solo, para desencadear escorregamentos. Durante chuvas intensas, a água satura o solo levando à diminuição ou desaparecimento da pressão de sucção ou coesão aparente, podendo causar desestabilização da encosta. Além disso, ao ser umedecido o solo recebe uma sobrecarga que favorece o desencadeamento de escorregamentos. Outro fator é a criação de um nível de água (NA) entre um meio mais permeável sobre um meio menos permeável (como na interface com a rocha fresca) mesmo que de curta duração.

Os escorregamentos podem ser deflagrados por eventos chuvosos extremos e chuvas prolongadas de intensidade moderada, sendo dependentes dos valores pluviométricos ocorridos no dia e acumulados nos dias anteriores à ruptura dos blocos ou solos (DIAS; HERRMANN, 2002; GOMES; SOBREIRA; CASTRO, 2007). A probabilidade de sua deflagração aumenta quando uma forte chuva é precedida por dias consecutivos de chuva, que

vem contribuindo para o aumento do grau de saturação do solo. Quando uma chuva intensa é precedida por dias secos o risco diminui, mas permanece (DIAS; HERRMANN, 2002). Segundo Gomes, Sobreira e Castro (2007) os movimentos de massa profundos estão relacionados às chuvas antecedentes acumuladas e os superficiais são gerados pela intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos.

Exemplos desses fenômenos catastróficos resultantes de chuvas intensas foram os escorregamentos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro e cadeias montanhosas adjacentes no verão de 1967 e 1976 (COSTA NUNES et al., 1979 apud GERSCOVICH; VARGAS; CAMPOS, 2006) e em Angra dos Reis em 2002.

Segundo Pradhan, Singh e Buchroithner (2006), a chuva e a vegetação rala são os maiores fatores de gatilho dos escorregamentos juntamente com os terremotos, porém podem ocorrer em encostas naturais e ocupadas durante ou imediatamente após eventos chuvosos (GERSCOVICH; VARGAS; CAMPOS, 2006). Entretanto, os efeitos observados podem estar fortemente ligados às características das ações antrópicas desenvolvidas na área, principalmente nas grandes áreas urbanas, em ocupações de encostas íngremes com lavouras, pastagens ou moradias (SOARES, 2006). Segundo Soares (2006), a relação entre escorregamento e precipitação faz com que o verão seja uma época com mais ocorrências de escorregamentos. Observe-se que os índices pluviométricos considerados críticos variam, sendo menores para os escorregamentos induzidos e maiores para os generalizados (DIAS; HERRMANN, 2002; BRASIL, 2007)

2.2.5.2.1- ÍNDICES DE CHUVA CAUSADORES DE ESCORREGAMENTOS

Ainda que a rede de coleta de dados pluviométricos no município de Paraty seja recente e seus dados ainda insuficientes para uma análise detalhada e correta, considerou-se sua utilização dentro do princípio que a pesquisa tem caráter acadêmico. Para estimar os

índices de chuvas capazes de provocar escorregamentos adotou-se a proposta de Lumb (1975, apud SOARES, 2006), que se baseia na precipitação acumulada nas 24 horas que antecedem o deslizamento, citando índices acima de 100 mm. Outro valor a ser considerado seria a chuva acumulada em 15 dias antecedentes ao deslizamento com índices acima de 200mm.

Já Brand et al. (1984) não encontraram associação de precipitação acumulada com a ocorrência de deslizamentos e sim com os picos de chuva horária que, estando em torno de 70 mm/hora, podem detonar deslizamentos. Já o estudo de Soares (2006) propõe o limite diário de 75 mm para Angra dos Reis, município vizinho a Paraty, para o desencadeamento de escorregamentos.

2.2.6- MÉTODOS DE MAPEAMENTOS DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Diversos métodos e modelos podem ser utilizados na determinação de áreas mais ou menos suscetíveis a movimentos de massa e sua aferição e validação deve ser feita através de técnicas de campo que, apesar de precisas não são suficientes, pois em sua maioria geram medidas pontuais (HERVÁS et al., 2003).

Segundo Matternicht, Hurni e Gogu (2005) os métodos são agrupados em:

- Método de inventário (substituído pelo modelo probabilístico em Abella; van Westen (2008);
- Método estatístico;
- Método determinístico (SOETERS; VAN WESTEN, 1996; VAN WESTEN, 1997; GUZZETTI et al., 1999; ABELLA; VAN WESTEN, 2008);
- Método heurístico (que pode ser mapeamento geomorfológico direto ou combinação indireta de mapas qualitativos).

O inventário é o mapeamento dos movimentos de massa ocorrentes em uma determinada área, foi utilizado por Nagarajan et al. (1998), Zhou et al. (2002), van Westen e Getahun (2003) e Cheng et al. (2004). Este método mostra apenas onde o fenômeno já ocorreu e não onde possivelmente vai ocorrer (MANTOVANI; SOETERS; VAN WESTEN, 1996).

Abella e Van Westen (2008) substituíram o método de inventário pelo modelo probabilístico. Um dos exemplos é o chamado modelo probabilístico bayesiano (Bayesian), que mapeia cicatrizes de escorregamento e levanta as variáveis que influenciam em sua ocorrência (SOARES; SOARES; FIORI, 2002), visando mapear e fornecer uma visão espacial dos escorregamentos ocorridos e das áreas com risco potencial de futuras ocorrências (ARAÚJO, 2004). Nesse caso as cicatrizes são consideradas como um sinal favorável de que os condicionantes daquela área e sua junção levam ao acontecimento do evento (ARTUR, 1998). Foi utilizado nos estudos de Lee, Choi e Min (2002), Lee e Choi (2004) e Lee e Dan (2005). Porém, possui limitações quanto à exigência de independência condicional entre os dados e à qualidade dos mesmos (ARAÚJO, 2004).

Métodos estocásticos/estatísticos são métodos indiretos onde análises estatísticas são usadas para obter previsão de movimentos de massa de um número de mapas de parâmetros. Usam geralmente formas de estatística bivariada, multivariada, regressão logística e rede neural artificial de características do relevo que tenham levado a movimentos de massa no passado ou dão pesos baseados nos atributos relacionados aos movimentos de massa. São encontrados em diversos estudos como Carrara et al. (1991), Rowbotham e Dudycha (1998), Lineback Gritzner et al. (2001), Baeza e Corominas (2001), Lorente et al. (2002), Donati e Turrini (2002), Lin et al. (2002), Araújo (2004), Ayalew e Yamagishi (2005), Can et al. (2005), Ermini et al. (2005), Begueria (2006) e Komac (2006).

Podem fazer previsões quantitativas para áreas livres de movimentos de massa diminuindo sua subjetividade, mas necessitam de uma quantidade muito grande de dados para produzir resultados confiáveis (BARREDO et al., 2000). Uma união de análises estatísticas e espaciais (método heurístico/geomorfológico) foi proposta por Zhou et al. (2002) o que contribuiu para analisar seu relacionamento, avaliar o risco e prever futuros movimentos de massa.

Os métodos determinísticos geram os resultados mais detalhados onde o risco é expresso em valores absolutos, porém necessitam de uma quantidade tão grande de dados que os torna proibitivos (BARREDO et al., 2000). Foi utilizado por Fernandes et al. (2001) que fez a previsão de áreas instáveis em duas bacias no maciço da Tijuca (RJ) utilizando um modelo matemático determinístico (shalstab) que se mostrou eficiente, pois 95% das cicatrizes mapeadas estavam em áreas de maior suscetibilidade prevista por ele. Esse mesmo modelo foi utilizado no estudo de Fernandes et al. (2004).

O método heurístico também conhecido como método geomorfológico necessita da opinião de especialistas no assunto para estimar o potencial de movimentos de massa das variáveis preparatórias. Nesse método ocorre a sobreposição de vários mapas e cartas, combinados por regras aritméticas que determinam o potencial de escorregamento de uma área ou região (WEIRICH; BLESIOUS, 2007). O Sistema de Informações Geográficas (SIG) facilitou muito o desenvolvimento dessas sobreposições, por causa da facilidade e simplicidade com as quais os mapas são sobrepostos e aplicados os procedimentos aritméticos. Nele, a série de dados e mapas relevantes é analisada e recebe pesos, de acordo com a frequência com a qual o fator é associado a movimentos de massa, com base no conhecimento de especialistas nos fatores causadores da instabilidade de encostas (WEIRICH; BLESIOUS, 2007).

Apesar de serem considerados subjetivos, por depender da experiência e visão de pesquisadores envolvidos e de sua familiaridade com a área de estudo e, ainda, de possuir problemas de reprodutibilidade dos resultados por causa da subjetividade das regras envolvidas nas análises (DAI; LEE, 2002), a carta de suscetibilidade resultante pode ser de grande acurácia e utilidade quando executado por geomorfólogos experientes (MANTOVANI; SOETERS; VAN WESTEN, 1996). Em alguns estudos o sucesso desse método foi verificado, como em Irigaray et al. (1999) que tiveram sua carta de suscetibilidade confirmado em evento posterior à sua elaboração que ocasionou movimentos de massa na área estudada. Esse método tornou-se muito popular no zoneamento de instabilidade de encostas.

Alguns exemplos de método geomorfológico são encontrados em Brunsten et al. (1975), Anbalagan (1992), Pachauri e Pant (1992), Pachauri et al. (1998), Turrini e Visintainer (1998), Luzi e Pergalani (1999), Barredo et al. (2000), Moreiras (2005), Weirich e Blesius (2007), Abella e van Westen (2008). É o mais indicado na obtenção de mapas qualitativos de grandes áreas em curto espaço de tempo relativo. Não necessita de base de dados geotécnicos, mas de mapeamento geomorfológico detalhado.

Segundo Abella e van Westen (2008) esse método gera cartas de suscetibilidade mais confiáveis que os estatísticos, pois estes aceitam algumas generalizações nas análises já que a análise objetiva baseia-se em grande simplificação da realidade (WEIRICH; BLESIIUS, 2007). Este método foi o método escolhido e seguido para a confecção das cartas de suscetibilidade a escorregamentos do presente estudo. Entretanto, independentemente da metodologia escolhida, é importante que se compreenda o processo estudado e como se dá a interação dos fatores que influenciam a suscetibilidade a escorregamentos (ARAÚJO, 2004).

O advento do geoprocessamento, da utilização dos SIG's e das imagens geradas por sensoriamento remoto intensificou e facilitou a adoção do método escolhido.

2.2.7- APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS AO ESTUDO DE MOVIMENTOS DE MASSA

2.2.7.1- APLICAÇÃO DE SIG AO ESTUDO DE MOVIMENTOS DE MASSA

O geoprocessamento é um conjunto de tecnologias utilizadas para a coleta e tratamento de dados georreferenciados e é executado por sistemas computadorizados específicos conhecidos como SIG (http://www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm) que permitem realizar a criação e gerenciamento de bancos de dados geo-referenciados, a digitalização de mapas, o processamento de imagens, bem como análises estatísticas de bancos de dados espaciais e atributos e análise geográfica, determinação da evolução espacial e temporal de um determinado fenômeno geográfico.

Com isso permite identificar situações e padrões difíceis de serem percebidos através dos métodos convencionais, com análises complexas, integração de dados multifontes, produção de documentos cartográficos e mapas inclusive tridimensionais entre outros, com grande poder de visualização e apresentação (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; FEITOSA, 2000), o que os distingue de outros tipos de sistemas de informação (CÂMARA et al., 2001; SIMÕES; CARDOSO, 2004).

Nas geociências os SIG são utilizados em levantamentos temáticos geológicos, geomorfológicos e pedológicos no diagnóstico ambiental para projetos de ocupação ou preservação, na avaliação de impacto ambiental e no planejamento e ordenamento territorial (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). O SIG tornou a elaboração de mapas mais rápida, fácil e barata permitindo também a realização de seleções, alterações, observações, atualizações, produção e reproduções dos layers a qualquer momento (AUGUSTO, 1998).

Estes sistemas são capazes de integrar dados vetoriais (indicados para uma maior exatidão onde se utilizam três elementos gráficos - ponto, linha e polígono), matriciais e grades (matriz com valores de cinza da imagem - indicados para operações de álgebra de

mapas), imagens de sensoriamento remoto, modelos numéricos de terreno e mapas temáticos (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e cobertura do solo, que são apenas aproximações da realidade e podem ser armazenados na forma vetorial ou matricial, onde cada célula terá um valor temático qualitativo dependente da localização espacial) (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; FEITOSA, 2000).

Um SIG armazena, sobre uma base comum, níveis, camadas ou planos de informação, que podem variar em número, formato e tema onde cada um deles representa a distribuição de um determinado elemento na superfície do mundo real, compondo um projeto ou banco de dados (SABOYA, 1998 apud FEITOSA, 2000). Isto permite a execução de operações matemáticas e lógicas, como funções aritméticas, logarítmicas, trigonométricas e operações booleanas entre eles para que os objetivos do estudo sejam atingidos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Um SIG também permite operações de transformação incluindo re-classificação de mapas, obtenção de mapas diversos a partir de um mapa de altimetria, fatiamento em classes onde um mapa contínuo é convertido em um mapa de classes e operações de vizinhança onde diversos mapas podem ser integrados e classificados obtendo-se um mapa temático (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; CÂMARA et al., 2001). Entretanto apresentam limitações, pois dependem, por vezes, da interpretação, às vezes subjetiva, de um especialista a fim de associar a metodologia utilizada a um modelo preditivo que combine as operações realizadas no SIG (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; CASTRO, 1998). Entretanto, num país extenso e carente de informações como o Brasil, o SIG passou a ser utilizado na tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, a um custo relativamente baixo (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

A possibilidade da integração de dados e análise dos padrões da paisagem tornou o SIG um grande avanço para o entendimento dos fenômenos da superfície terrestre

(HERMUCHE et al., 2003) permitindo relacionar os diversos fatores que atuam na ocorrência dos escorregamentos, facilitando as análises de escorregamentos de forma didática e contínua (GOMES; SOBREIRA; CASTRO, 2007) e permitindo a representação gráfica do problema (AUGUSTO FILHO, 1995; TRALLI et al., 2005). Além disso, possibilita o monitoramento das mudanças na paisagem, o planejamento do uso do solo, a previsão e prevenção contra incidentes envolvendo movimentos de massa, pois avaliando os condicionantes do meio físico envolvidos na ocorrência de escorregamentos podem-se selecionar os locais com diversos graus de suscetibilidade a esses acidentes (LEE; CHOI; MIN, 2002; PASSARELLA; MACHADO, 2007; ECKHARDT et al., 2007).

Existe um grande potencial para o uso de SIG em estudos de movimento de massa que vem sendo explorado, fato demonstrado pelos numerosos estudos que o utilizam e pela forma como vem aumentando sua utilização para estes fins (ARAÚJO, 2004). E dependendo do volume de dados, tempo disponível e complexidade das operações necessárias para chegar a resultados mais confiáveis, os SIGs chegam a ser essenciais e indispensáveis (ARAÚJO, 2004), contribuindo na evolução dos estudos e na análise de movimentos de massa, possibilitando a previsão e aumentando o entendimento sobre as encostas (CARRARA et al., 1999; CHUNG; FABBRI, 2003; LEE; TALIB, 2005). Com o uso do SIG a probabilidade, localização e frequência de futuros movimentos de massa podem ser previstos em uma visão sinótica (ZOLFAGHARI; HEATH, 2008; ALEXANDER, 2008), objetivando remediar e reduzir os danos (LEE; MIN, 2001).

Muitos estudos já foram executados utilizando SIG na análise de risco de movimentos de massa como Carrara et al. (1991), Mckean et al. (1991), Castro (1993), Ferreira (1994), Luzi e Floriania (1996), Gokceoglu e Aksoy (1996), Larsen e Torrez-Sanchez (1998), Turrini e Visintainer (1998), Burton e Bathurst (1998), Castro (1998), Bertagna e Riedel (1999), Augusto Filho e Alberto (1999), Guzzetti et.al. (1999); Randall et.al. (2000), Rautela e

Lakheraza (2000), Gokceoglu et.al. (2000), Luzi et.al. (2000), Parise e Randall (2000), Baeza e Corominas (2001), Lee e Min (2001), Mandy et.al. (2001), Dai et.al. (2001), Donati e Turrini (2002), Zhou et al. (2002), Dias e Herrmann (2002), Lee et.al. (2002a), Lee et.al. (2002b), Refice; Capolongo (2002), Lee et.al. (2003a), Lee et.al. (2003b), Lee; Choi (2003), Lee e Talib (2005). Também a integração entre técnicas e imagens de sensoriamento remoto e SIG em estudos de movimentos de massa tem sido comum e comprovadamente importante na determinação de áreas de risco (VALENTE, 1996), como em Rautela e Lakhera (2000), Sestini (2000), Gómez e Kavzoglu (2005), Lee (2005), Lee e Talib (2005), Martini et al. (2006), Riedel et al. (2007), Kux, Araújo e Dupont (2007), Lopes et al. (2007) e Passarella e Machado (2007).

2.2.7.2 - APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO AO ESTUDO DE MOVIMENTOS DE MASSA

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta na produção de mapas de uso, ocupação e cobertura do solo, para análises temporais e monitoramento de áreas com vários objetivos, bem como no levantamento de recursos naturais e fiscalização das normas e leis do uso do solo (THOMAS; BUENO; LAPOLLI, 2001; LOPES, 2006; CAVALCANTE; MAGALHÃES SOBRINHO; SILVA, 2007). É particularmente importante em um país como o Brasil, com carência de informações e recursos para tais levantamentos e com a existência de grandes áreas de difícil acesso em seu território (GÓMEZ; KAVZOGLU, 2005).

A produção de documentos cartográficos com base em imagens de satélite tem sido cada vez mais comum, graças à visão sinótica, importante na identificação de objetos e relações não evidentes em trabalhos de campo. São também capazes de gerar dados primários das superfícies imageadas, sendo fundamentais na produção de mapas. Apresentam, por fim, repetitividade e periodicidade de imageamento (HERVÁS et al., 2003; CAVALCANTE;

MAGALHÃES SOBRINHO; SILVA, 2007), facilidade de aquisição e com custos baixos a nulos quando comparados a levantamentos aerofotogramétricos tradicionais (ROSENDO; ROSA, 2007).

Outro fator relevante do sensoriamento remoto está ligado aos novos sensores capazes de obter dados topográficos, podendo gerar modelos digitais de elevação (MDEs). Os MDEs possibilitam a representação do relevo terrestre através do armazenamento digital das coordenadas x-y-z de uma superfície qualquer e são uma importante ferramenta analítica para o desenvolvimento de modelagens e cruzamentos. Além de permitir a visualização em 3D, fornece base de dados para a produção de vários outros mapas temáticos, como de curvatura de encosta, declividade entre outros (ARAÚJO, 2004).

O sensoriamento remoto tornou-se nas últimas décadas uma das mais tradicionais fontes de informação na pesquisa de movimentos de massa e seus dados apresentam um grande potencial na reconstrução histórica dos processos atuantes na superfície terrestre (SINGHROY, 1995; TRALLI et al., 2005). Podem informar a distribuição espacial de fatores controladores de movimentos de massa como estruturas geológicas, formas de relevo, morfologia de encostas, uso do solo e vegetação além de possibilitar acesso a informações remotas de terrenos montanhosos pouco acessíveis (GÓMEZ; KAVZOGLU, 2005).

Até o advento das imagens orbitais, na década de 1970, as fotografias aéreas eram uma fonte de informação essencial para esses estudos (WASOWSKI; SINGHROY, 2003; MANTOVANI; SOETERS; VAN WESTEN, 1996). Com a recente disponibilidade de imagens orbitais de resolução sub-métrica a tendência é sua substituição. Mas as fotografias aéreas são ainda uma fonte de informação importante nas investigações de instabilidade de encostas, informando de feições ausentes das imagens de média resolução espacial, como cicatrizes de escorregamentos.

Hervás et al. (2003), por exemplo, através de processamento de imagens mapeou e monitorou atividades de movimentos de massa usando imagens multitemporais. Singhroy (1995) e Singhroy et al. (1998) utilizaram interferometria por radar de abertura sintética (SAR) e imagens TM do satélite Landsat 5 na caracterização de movimentos de massa no Canadá.

Delgado, Batista e Catelani (2006) utilizaram imagens de satélite Landsat 5 e 7 no mapeamento do uso da terra, detecção de mudanças e identificação e quantificação do avanço da ocupação urbana nas áreas de risco de movimentos de massa. Matternicht, Hurni e Gogu (2005) publicaram uma revisão da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para estudos de movimentos de massa na Europa.

O aumento do número de trabalhos publicados é resultado do aumento na disponibilidade de dados de diversos satélites como a série Landsat, TERRA, ALOS e CBERS entre outros (WASOWSKI; SINGHROY, 2003), porém não indica que todo o seu potencial tenha sido explorado, pois segundo Mantovani et al. (1996) apenas um número limitado de pesquisadores faz um uso completo de imagens multiespectrais para avaliação de movimentos de massa.

2.2.8- EXEMPLOS DE PESQUISAS DE AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

A análise da literatura consultada indica não existir um padrão metodológico para elaborar cartas de suscetibilidade a movimentos de massa, nem uma regra para a totalidade dos fatores a serem considerados (MARTINI et al., 2006). Este fato é enfatizado pela quantidade de métodos encontrados na literatura que combinam diferentes parâmetros para atingir os mesmos objetivos (ARAÚJO, 2004). Visando mostrar a variabilidade do que é

utilizado no cruzamento de dados para a geração de cartas de risco e suscetibilidade a movimentos de massa foi realizado um levantamento de dados.

Estudos como Gao (1993, apud FERNANDES et al., 2001) nos EUA e Larsen e Torres-Sánchez (1998) utilizaram em seus cruzamentos o mapeamento de cicatrizes de escorregamento e variáveis topográficas como elevação, orientação e declividade de encostas, sendo que o primeiro estudo incluiu a forma da encosta e o segundo o uso do solo. O estudo de Vieira e Furtado (2004) analisou geologia, declividade e forma de encostas cruzadas com a ocupação. Martini et al. (2006) cruzaram relevo, solo e cobertura do solo.

Riedel et al. (2007) utilizaram declividade, litologia e forma de vertentes no cruzamento. Fonteles, Veríssimo e Colares (2001) sobrepuseram as características geológicas (substrato rochoso e materiais inconsolidados), formas de relevo, declividade e evidências de movimentos de solos e rochas. Lee, Choi e Woo (2004) utilizaram um mapa de cicatrizes, dados topográficos de declividade, aspecto e curvatura de encostas, propriedades do solo como topografia, textura, material, drenagem e densidade efetiva, dados de vegetação como tipo de cobertura florestal, idade, diâmetro e densidade da vegetação, geologia, distância do lineamento e uso do solo. Ferreira et al. (2008) consideraram três condicionantes na suscetibilidade a escorregamentos de uma área: declividade, forma de vertente e a geologia, seguindo IPT (1988, apud FERREIRA et al., 2008).

Pradhan, Singh e Buchroithner (2006) utilizaram dados de uso e cobertura do solo, lineamento, densidade de drenagem, declividade, relevo relativo e geologia. Lee (2005) considerou a declividade, orientação de vertentes, curvatura, distância da drenagem, litologia, distância dos lineamentos, uso do solo e cálculos de índice de vegetação. Lee e Min (2001) em seu estudo em Yongin (Coréia) levaram em conta os dados de localização de cicatrizes, altitude, declividade, orientação e curvatura de vertentes, tipo de material do solo e sua textura, drenagem e densidade, tipo de cobertura florestal e sua densidade, idade, diâmetro da

madeira e litologia. Lee, Chwae e Min (2002b) utilizaram cicatrizes, estruturas geológicas, declividade e orientação de encostas sobrepondo-as e analisando a relação entre elas. Dai e Lee (2002) consideraram elevação, declividade, aspecto, curvatura, proximidade da drenagem e uso do solo.

Em Lee et al. (2003b) foram levados em conta a declividade e curvatura das encostas, textura, drenagem e densidade efetiva do solo e idade e diâmetro das árvores. Para Boun, Coréia no estudo de Lee et al. (2003a) foram usados na análise da suscetibilidade à declividade, orientação e curvatura de encostas, tipo de topografia, textura material, drenagem e densidade efetiva do solo, tipo e idade dos vegetais, diâmetro dos troncos e densidade da madeira, geologia e cobertura do solo. Lee et al. (2003c) cruzaram declividade, curvatura, textura, densidade efetiva e drenagem do solo, tipo e diâmetro de madeira e localizou os movimentos de massa ocorridos no passado.

Feito em Janghung (Coréia) o estudo de Lee e Choi (2003) usou cicatrizes, topografia (declividade, aspecto, curvatura e cartas de sombreamento de relevo), geologia, solo (textura, material, drenagem, densidade específica e topografia do solo) e uso do solo, carta de florestas (tipo e idade de vegetação, diâmetro dos troncos e densidade da madeira), minas, cartas de frequência de chuva e dados de precipitação diária, temperatura, umidade, nuvens, direção de vento. Análises em um estudo anterior na mesma região, Lee, Choi e Min (2002) combinaram declividade, aspecto, curvatura, drenagem do solo e tipo de floresta e o estudo mostrou os melhores resultados, confirmados pela localização dos escorregamentos posteriores.

Lee, Choi e Min (2004) combinaram declividade, curvatura e orientação das encostas, com o tipo de topografia, textura, material, drenagem e densidade efetiva do solo, tipo de cobertura florestal, sua idade, diâmetro e densidade. Lee e Dan (2005) cruzaram cicatrizes de movimentos de massa, declividade, orientação e curvatura de encostas, uso do solo, distância dos lineamentos, tipo de solo. Lee e Talib (2005) fizeram o cruzamento entre declividade,

orientação, curvatura e distância da drenagem. Panikkar e Subramanyan (1996) relacionaram em seu cruzamento litologia, proximidade de fraturas e falhas e lineamentos, forma de relevo, declividade, erosão lateral por drenagem, textura, diferença de elevação entre vales adjacentes, altitude e relevo e uso e cobertura do solo e distância de rodovias.

As principais causas elencadas foram a litologia, proximidade das estruturas, declividade e orientação da vertente, erosão lateral por drenagem e desflorestamento por atividade humana. Em Singhroy (1995) a carta resultou do cruzamento entre a geomorfologia das encostas, uso do solo e localização e distribuição de zonas de fratura. Abella e van Westen (2008) usaram informações geológicas (litologia, geologia estrutural), dados de relevo (elevação), informações de movimentos de massa (carta de movimentos de massa), dados de vegetação, dados hidrogeológicos (nível de água subterrânea, fontes naturais e antrópica) e carta geotécnica solos para avaliação de movimentos de massa e dinâmica costeira.

Rautela e Lakhera (2000) cruzaram mapas temáticos de vários parâmetros afetando a ocorrência de movimentos de massa como orientação, declividade, geologia, uso e cobertura do solo, morfologia, atividade tectônica, drenagem, falhas menores e maiores, mapas de relevo e dados demográficos. Em Dominguez-Cuesta, Jiménez-Sánchez e Berrezueta (2007) foram consideradas a declividade, orientação e curvatura de encostas, vegetação e uso do solo. Os resultados mostraram que os atuais movimentos de massa da área são relacionados à litologia, presença de cobertura quaternária, vegetação, orientação, curvatura e declividade.

Perotto-Baldiviezo et al. (2004) usaram declividade, aspecto, proximidade da drenagem e cobertura vegetal para seu estudo em Honduras. Fourniadis, Liu e Mason (2007) fizeram uma mapa cruzando declividade, litologia e verdade de campo. Dias e Herrmann (2002) cruzaram os mapas de declividade, geomorfológico, forma de encosta e uso. Passarella e Machado (2007) utilizaram forma e orientação de vertentes.

Zaloti Junior et al. (2007) cruzaram uso e cobertura do solo, declividade e aspecto e Lee e Choi (2004) determinaram que os melhores resultados vieram da combinação entre declividade, curvatura, topografia, diâmetro da madeira, geologia e lineamento. Gómez e Kavzoglu (2005) usaram cobertura vegetal, declividade, aspecto, lineamento, geologia, elevação, comprimento de encosta, índice topográfico de dissecação e tipo de solo. Já Couto et al. (2005) fizeram para Petrópolis o mapa de potenciais áreas de risco e de estabilidade para deslizamentos usando dados de declividade e forma de encosta e uso do solo. Gerou um mapa de condicionantes hidrogeomorfológicos (declividade x áreas côncavas) e um mapa de risco e suscetibilidade onde adicionou o uso do solo. Fernandes et al. (2004) combinaram topografia, cobertura vegetal e uso do solo em um estudo sobre o morro do Quitite e Papagaio no Rio de Janeiro.

Analisando esta longa série de estudos observa-se que raramente utilizaram os mesmos condicionantes em seus cruzamentos. Entretanto em 97 % dos estudos consultados utilizou-se a declividade em seus cruzamentos, seguido da forma e orientação das encostas em 69% e 67% dos estudos, respectivamente, 59% utilizam o uso e cobertura do solo e 56% a geologia. Os demais condicionantes utilizados nos cruzamentos aparecem em menos de 31% dos estudos. Ainda que seja uma escolha baseada no empirismo, esta análise orientou a escolha dos métodos utilizados na pesquisa.

2.2.9- ESTUDOS ANTERIORES NA SERRA DO MAR

Augusto Filho e Almeida (1990, apud ARAÚJO, 2004) indicam uma metodologia para elaboração da carta geotécnica da Serra do Mar onde se integram dados de cobertura vegetal, declividade e tipologia das encostas. Ploey e Cruz (1979) e Araújo (2004) consideraram condicionantes responsáveis pela instabilidade das escarpas da Serra do Mar, a declividade acentuada, a grande amplitude do relevo, a pluviosidade elevada, a drenagem

superficial e subterrânea, a vegetação natural alterada pela ação antrópica e a complexidade geológica. Araújo (2004) inclui as estruturas rúpteis como condicionantes da estabilidade geral das encostas, em estudo para a Serra de Cubatão.

2.3- CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

UTILIZADOS

2.3.1- LANDSAT

O sistema LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite) desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration-NASA, foi originalmente denominado Earth Resources Technology Satellite – RTS (<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/landsat.html>).

Os três primeiros satélites foram construídos a partir de uma modificação do satélite meteorológico NIMBUS do início dos anos 1960 (http://www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm). Até 1984 o programa foi operado pela NASA/NOAA, sendo posteriormente assumido pela EOSAT (Earth Observation Satellite Company) empresa privada formada pela joint venture entre a RCA Corporation e a Hughes Aircraft Company (http://www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm).

A série Landsat contou com 7 satélites onde o primeiro foi lançado em 1972, os Landsat 2 e 3 em 1975 e 1978 levando a bordo os sensores RBV (Return Beam Vidicon) e MSS (Multispectral Scanner Subsystem). Os Landsats 4 e 5 (único ativo atualmente) são idênticos, possuem os sensores MSS e TM (Thematic Mapper) e foram lançados em 1982 e 1984 respectivamente, mas apenas no segundo o sensor foi operacional. O Landsat 6 foi lançado em 1993 levando a bordo o sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper) porém caiu no mar e não gerou imagens. E em 1999 o Landsat 7 foi lançado utilizando o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), mas deixou de imagear em 2003 (Tabela 2).

Tabela 2 – Características dos sensores orbitais portados nos satélites da série Landsat.

Satélite	Banda espectral	Região do espectro (μm)	Resolução Espacial (m)
Landsat 1, 2 e 3	Banda 4	verde (0,5 - 0,6)	80
	Banda 5	vermelho (0,6 - 0,7)	80
	Banda 6	no infravermelho próximo (0,7 - 0,8)	80
	Banda 7	no infravermelho próximo (0,8 - 1,1)	80
(apenas no Landsat 3)	Banda 8	infravermelho termal (10,4 - 12,6)	80
Landsat 4 e 5	Banda 1	azul (0,45 - 0,52),	30
	Banda 2	verde (0,50 - 0,60)	30
	Banda 3	vermelho (0,63 - 0,69)	30
	Banda 4	infravermelho próximo (0,76 - 0,90)	30
	Banda 5	infravermelho ondas curtas (1,55 - 1,75)	30
	Banda 6	infravermelho termal (10,4 - 12,5)	120
	Banda 7	infravermelho ondas curtas (2,08- 2,35)	30
	Landsat 7	Banda 1	azul (0,45 - 0,52)
	Banda 2	verde (0,50 - 0,60)	30
	Banda 3	vermelho (0,63 - 0,69)	30
	Banda 4	infravermelho próximo (0,76 - 0,90)	30
	Banda 5	infravermelho ondas curtas (1,55 - 1,75)	30
	Banda 6.1 e 6.2	infravermelho termal (10,4 - 12,5)	60
	Banda 7	infravermelho ondas curtas (2,08 - 2,35)	30
	Banda 8	banda pancromática (0,50 - 0,90)	15

Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

As imagens Landsat são utilizadas generalizadamente em estudos do meio físico e de monitoramento da cobertura vegetal entre outras aplicações (VETTORAZZI, 1996; MOREIRA; COSTA; MEDEIROS, 2005). Na avaliação do comportamento da ocupação antrópica e da evolução da vegetação são utilizadas essencialmente as bandas no visível e no infravermelho próximo (SESTINI; FLORENZANO, 2004). Diferenças entre cicatrizes apresentando solo ou rocha expostos e cicatrizes com retomada da vegetação (gramíneas, samambaias) podem também ser detectadas pelos sensores (SESTINI; FLORENZANO, 2004) desde que haja resolução espacial para tanto.

2.3.2- ASTER

O sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) encontra-se a bordo do satélite TERRA, lançado em 18 de dezembro de 1999 (<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/terra.html>), sendo composto por três subsistemas sensores imageando nas regiões do visível e dos infravermelhos próximo, ondas curtas e termal, com 14 bandas espectrais (PAZ; ALVES; ROLIM, 2005) (Tabela 3)

Tabela 3 – Características das bandas espectrais do sensor ASTER

Sensor ASTER	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial (m)
VNIR	Banda 1: 0.52 - 0.60 μm		15
	Banda 2: 0.63 - 0.69 μm		
	Banda 3N: 0.76 - 0.86 μm NADIR		
	Banda 3B: 0.76 - 0.86 μm BACK NADIR		
SWIR	Banda 4: 1.600 - 1.700 μm		30
	Banda 5: 2.145 - 2.185 μm		
	Banda 6: 2.185 - 2.225 μm		
	Banda 7: 2.235 - 2.285 μm		
	Banda 8: 2.295 - 2.265 μm		
TIR	Banda 9: 2.260 - 2.430 μm		90
	Banda 10: 8.125 - 8.475 μm		
	Banda 11: 8.475 - 8.825 μm		
	Banda 12: 8.925 - 9.275 μm		
	Banda 13: 10.25 - 10.95 μm		
	Banda 14: 10.95 - 11.65 μm		

Fonte: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/characteristics.asp>

Com as bandas 3N (Nadir) e 3B (Backward Looking) no infravermelho próximo pode-se criar modelos digitais de elevação a partir de pares estereoscópios. A banda 3N é gerada no NADIR, ou seja, na vertical. Após aproximadamente 55 segundos a mesma área é imageada em uma retrovisada de cerca de 27° na direção contrária à sua órbita, por outro instrumento, gerando a imagem da banda 3B (MELGAÇO; SOUZA FILHO; STEINMAYER, 2005). Este sensor possui estereoscopia along-track que evita diferenças radiométricas, de cobertura de

nuvens e de iluminação entre as bandas 3N e 3B, pois as duas imagens são geradas de maneira praticamente simultâneas (STEINMAYER, 2003; MELGAÇO; SOUZA FILHO; STEINMAYER, 2005). As bandas 3N e 3B possuem resolução espacial de 15 metros podendo gerar modelos digitais de elevação com esta resolução máxima.

O estudo de Fourniadis, Liu e Mason (2007) mostrou que o sensor ASTER pode gerar dados topográficos para serem utilizados em estudos geomorfológicos com acurácia vertical de 15-30 metros, enquanto que Nikolakopoulos, Kamaratakis e Chrysoulakis (2006) indicam 15 metros de resolução altimétrica que seria um valor próximo ao tamanho do pixel da imagem que é de 15 metros.

2.3.3- SRTM

Os radares, por causa de seu comprimento de onda de 1 milímetro a 1 metro, desempenham um importante papel na coleta de dados da superfície terrestre pois geram imagens independentemente da cobertura de nuvens e ocorrência de chuvas (DUARTE; ASSAD, 2007).

Com a crescente necessidade de se ter modelos numéricos de terreno cada vez mais precisos cobrindo grandes áreas, a missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi criada em uma cooperação entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration), a NIMA (National Imagery Mapping Agency), USDD (United States Department of Defense), NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) e pela ASI (Agenzia Spaziale Italiana) (DIAS et al., 2004; CRUZ; BARROS; REIS, 2005; TORRES et al., 2006; RIBEIRO FILHO; CRUZ; REIS, 2007). A obtenção dos dados ocorreu entre 11 e 22 de fevereiro de 2000.

O Projeto SRTM representa a primeira experiência de interferometria por radar (sistema de radar de abertura sintética interferométrico - InSAR) a bordo de uma nave

espacial (GLCF, 2007) e mostrou o enorme potencial das novas tecnologias ao gerar a mais completa base de dados topográficos digitais de alta resolução da superfície terrestre (FARR; KOBRICK, 2000). Observe-se os MDEs das superfícies imageadas apresentam a altitude da superfície terrestre somada à altura do topo de edificações, árvores ou qualquer objeto sobre a superfície da Terra (CRUZ; BARROS; REIS, 2005).

Nesta técnica são geradas duas imagens de radar de duas posições ligeiramente diferentes (CREPANI; MEDEIROS, 2004; NÓBREGA; SANTOS; CINTRA, 2005; REIS et al., 2005). Os sensores contaram com um arranjo de antenas, consistindo em uma antena transmissora/receptora principal, do sistema SIR-C operando na banda C com comprimento de onda de 5,6 cm colocada no compartimento de carga da nave e outra antena receptora secundária, do sistema X-SAR operando na banda X com comprimento de onda de 3,1 cm (NIKOLAKOPOULOS; KAMARATAKIS; CHRYSOULAKIS, 2006), colocada na extremidade de uma haste de 60 metros de comprimento fora da nave, o que configura a linha de base interferométrica garantindo a observação a partir de dois pontos ligeiramente diferentes, estas diferenças permitem calcular a elevação da superfície ou a diferença (HIGA et al., 2006; BOSIO; ZUIM, 2007). Esse sistema garantiu a melhor qualidade dos dados pois possibilitou sua aquisição em uma mesma órbita (CRUZ; BARROS; REIS, 2005; REIS et al., 2005). Para a América do Sul os MDEs são referentes à banda C com 90 metros de resolução espacial.

De acordo com as especificações da missão SRTM, os modelos digitais de elevação foram produzidos com uma precisão vertical de 16m, com 90% de certeza e acurácia absoluta horizontal de 20 metros (para erro circular com 90% de confiança) (VAN ZYL, 2001; RABUS et al., 2003). Porém diversos estudos têm reavaliado essas informações.

Quanto à sua acurácia vertical alguns trabalhos indicam que podem ser atingidas precisões melhores do que as estimadas antes do início da missão, como por exemplo, em

Heipke et al. (2002, apud CRUZ; BARROS; REIS, 2005), que estimam em até 6 metros o erro vertical quando se eliminam as imperfeições do sistema. Rodriguez et al. (2005, apud ZALOTI JUNIOR et al., 2007) apontam para um erro absoluto de 6,2 m em 90% dos dados para a América do Sul em um levantamento de campo oficial da NASA para se obter uma avaliação do MDE SRTM.

Sun et al. (2003) encontraram acurácia melhor que 16 metros em áreas abertas na Sibéria Central (5,17 m), porém como a vegetação influi nos dados SRTM, em áreas florestadas, o MDE superestima as altitudes por causa da cobertura florestal. Reis et al. (2005) e Rao (2004, apud PINHEIRO, 2006) compararam dados altimétricos de GPS e SRTM na Índia, chegando a uma precisão de 5m. Pinheiro (2006) encontrou 7 metros em uma área com relevo muito acidentado, este autor comparou os dados SRTM com dados de cartas topográficas (1:50.000) da Diretoria do Serviço Geográfico e com pontos controle adquiridos com GPS concluindo que seus pontos tem menos discrepâncias que a carta topográfica utilizada na comparação apresentando erros baixos e resultados satisfatórios. Por outro lado Miliaresis e Paraschou (2005), para a ilha de Creta, encontraram um erro de 25,5m, maior que o especificado pela missão SRTM.

Quanto à acurácia horizontal deve-se chamar atenção para o estudo de Rao (2004, apud CRUZ; BARROS; REIS, 2005) e REIS et al. (2005) que encontraram erros de 2 a 3 pixels na horizontal, o que chama a atenção para a necessidade de validação também para deslocamentos do dado.

Existem discordâncias entre alguns autores quanto à escala de trabalho adequada aos dados SRTM. Segundo Barros e Cruz (2007) o MDE SRTM se enquadra na acurácia de 1:100.000 classe A e 1:50.000 somente na classe C, indicada pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) definido por Lei, no Decreto nº 89.817/84. Segundo Souza Filho (2003) e Dias et al. (2004) a precisão é compatível com mapas topográficos na escala de até 1:50.000.

Para a Bacia do Rio Paraguai ficou definido que os dados SRTM podem ser utilizados na forma em que se encontram disponíveis e atendem o PEC nas escalas 1:30.000 para a Classe “A”, 1:25.000 para a Classe “B” e 1:20.000 para Classe “C” (HIGA et al., 2006). Pinheiro (2006) e Silva e Santos (2007) indicam que com 90m de resolução espacial, o uso do MDE SRTM é mais adequado em escala de 1: 250.000 ou menores.

Apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM apresentam imperfeições como, valores espúrios, falhas ou vãos (positivos e negativos) nas linhas de costa e nas proximidades a corpos d’água além de áreas sem valores de altitude, sendo recomendável realizar alguns processamentos de correção dessas falhas com intuito de corrigir picos e vórtices, sombra no sinal de radar e imperfeições não desejadas (RABUS et al., 2003; VALERIANO, 2004; CRUZ; BARROS; REIS, 2005; REIS et al., 2005; HIGA et al., 2006).

2.3.4- COMPARAÇÃO SRTM E ASTER

Vários estudos compararam os MDEs SRTM e ASTER. Um deles foi o estudo de Fujita et al. (2008) que comparou o MDE ASTER com 15 metros de resolução, os MDEs SRTM e ASTER com 90 metros de resolução com os dados obtidos com o uso de um DGPS. Esse estudo mostrou que o erro de acurácia vertical aumenta com o aumento da declividade o que é visto mais claramente no SRTM e no ASTER 90 do que no ASTER 15 por causa da resolução espacial. O MDE ASTER 90 apresentou mais erros em função do tamanho do pixel.

Com a comparação entre os MDEs SRTM e ASTER, ambos com 30 metros de resolução espacial, o trabalho de Melgaço, Souza Filho e Steinmayer (2005) mostrou que as principais feições do relevo se apresentaram semelhantes, mas houve diferenças entre as altitudes mínimas e máximas dos dois modelos. Os perfis topográficos, entretanto, se apresentaram extremamente bem correlacionados do ponto de vista qualitativo e, apesar da

semelhança entre as curvas de nível geradas pelos dois MDEs, por sua maior resolução espacial original o MDE ASTER apresenta um melhor detalhamento.

Em outro estudo, Kervyn et al. (2008) compararam um MDE de 10 metros de resolução derivado de uma carta topográfica com os MDEs SRTM de 30 e 90 metros e ASTER de 30 metros encontrando erros de 8, 10 e 13 metros respectivamente quando comparados com o primeiro. Os modelos indicam que algumas feições foram altimetricamente subestimadas o que depende diretamente da resolução espacial dos MDEs.

O MDE ASTER supera o MDE SRTM em resolução espacial mas este último tem maior disponibilidade de dados por recobrir as áreas emersas do planeta entre 80° Sul e 80° Norte enquanto as imagens ASTER, suscetíveis à presença de nuvens e sem imageamento automático, estão ainda longe de cobrir todo o planeta.

3. JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA E DA ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha do tema e do município de Paraty como área de estudo deve-se a um conjunto de motivos:

- situa-se em ambiente potencialmente sujeito a movimentos de massa, estando entre dois municípios com histórico de acidentes graves;
- é um município ainda sem registro de perdas humanas por acidentes causados por movimentos de massa, por manter a maior parte do território com média a alta suscetibilidade a escorregamentos recoberto por florestas;
- a ocupação de áreas potencialmente instáveis será inevitável se não houver ação do poder público;
- há disponibilidade de dados suficientes para elaborar um diagnóstico regional da suscetibilidade a movimentos de massa e não há qualquer estudo a respeito anterior a esta pesquisa
- e houve importante apoio de órgão federal no local (IBAMA) desde a elaboração do projeto.

4. OBJETIVOS

O objetivo central da pesquisa foi elaborar a carta de suscetibilidade a escorregamentos do município de Paraty considerando a ocupação do solo atual (2008) bem como sua evolução temporal, considerando a evolução da ocupação antrópica desde 1973. Esses mapas, ao identificarem os vetores de crescimento da ocupação urbana e rural e as áreas mais vulneráveis à ocorrência de escorregamentos, proporcionarão aos órgãos governamentais municipais informações úteis ao planejamento e gestão do uso do solo urbano e rural.

Como objetivo intermediário, gerado pela necessidade de obter um quadro da evolução das coberturas vegetais no município, pode-se avaliar a evolução das áreas florestadas no município como um todo e nas áreas protegidas.

A análise e comparação dos resultados obtidos com diferentes técnicas e/ou dados permitiram atingir o derradeiro objetivo, a proposta de metodologia rápida e de baixo custo para obter um quadro preliminar da suscetibilidade a escorregamentos em escala regional.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 - MATERIAIS

A partir da revisão bibliográfica foi definido o conjunto de parâmetros a ser utilizado na pesquisa. As fontes de informação referentes aos condicionantes de escorregamentos considerados no cruzamento em ambiente SIG foram o mapa geológico, mapa de uso e cobertura do solo, mapa de declividade, mapa de forma das encostas e estruturas geológicas (falhas, fraturas e lineamentos).

Foram utilizados um mapa geológico da literatura (BRASIL, 2000), produtos de sensoriamento remoto óptico (imagens do sensor MSS do satélite Landsat 1, sensor TM do satélite Landsat 5, sensor ETM+ do satélite Landsat 7, sensor ASTER do satélite TERRA) e em microondas (radar interferométrico da *Suttle Radar Topographic Mission* – SRTM). Selecionaram-se as melhores imagens ópticas disponíveis, considerando a distribuição temporal e a ausência de nuvens. As imagens concentraram-se no período seco da região, com exceção da imagem ASTER de abril de 2008. As imagens utilizadas encontram-se na Tabela 4. Foram ainda utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:60.000 do levantamento do território brasileiro feito pela USAF nas décadas de 1950 e 1960, cedidas por empréstimo pela CPRM/SP.

Tabela 4 – Lista das imagens ópticas utilizadas, com sensor e data de obtenção.

Satélite	Sensor	Data de obtenção
Landsat 1	MSS	11/07/1973
Landsat 5	TM	16/09/1986
Landsat 5	TM	15/06/1993
Landsat 7	ETM+	26/06/2000
Landsat 5	TM	25/08/2007
TERRA	ASTER	10/04/2008

No tocante à pluviosidade, foram analisados dados de precipitação diária cedidos pela Defesa Civil de Paraty obtidos em 15 pontos de coleta espalhados pelo município de Paraty, dados de pluviosidade disponibilizados pelo DAEE - SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) através do site <http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/hidrometeorologia/index.htm>, dados retirados do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000) e dos apresentados no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Também foram efetuadas observações do uso e ocupação do solo e da presença de cicatrizes de escorregamentos a partir de sobrevôos em helicóptero, através de incursões com veículos nas vias de acesso rodoviário e observação da costa com o auxílio de embarcação, todos os veículos cedidos pelo IBAMA local. Foram percorridas as vias de acesso do município em duas etapas de trabalhos de campo, com observação in situ de cicatrizes de escorregamentos e demais evidências de instabilidades (Figura 11). Foram coletadas as coordenadas de pontos de campo por meio de GPS e fotografadas cenas de interesse por câmera digital CANON REBEL Xti.

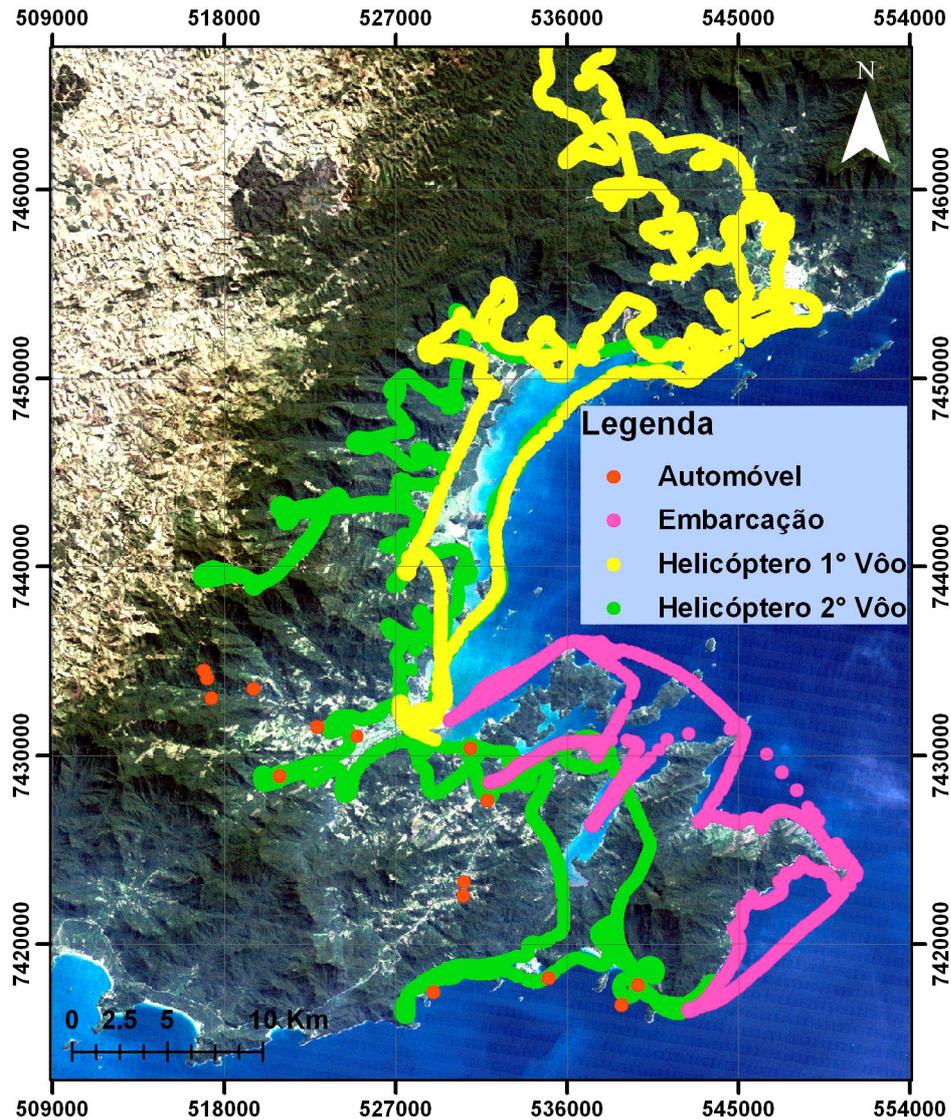


Figura 11 – Rotas percorridas a partir de sobrevôos em helicóptero, através de incursões com veículos nas vias de acesso rodoviário e observação da costa com o auxílio de embarcação

No desenvolvimento do trabalho, além do Microsoft Office, foram utilizados para obtenção, pré-processamento, processamento e cruzamento de informações dois programas o ENVI 4.3 e 4.5 e o ARCGIS 9.2, ambos do Laboratório de Informática Geológica do Instituto de Geociências da USP.

5.2 - MÉTODOS

5.2.1 - MAPA GEOLÓGICO

O mapa geológico foi retirado do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000), digitalizado no programa ENVI 4.3 e convertido para o formato “shape” do programa ArcGis 9.2.

5.2.2 - IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

As imagens ópticas e o modelo digital de elevação do SRTM foram adquiridos gratuitamente dos sites do Global Land Cover Facility (GLCF) através da Earth Science Data Interface (ESDI) no link <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> e do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do catálogo de imagens no link <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A imagem ASTER foi cedida pelo Professor Dr. Carlos Roberto de Souza Filho, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

O “download” das bandas das diversas imagens da tabela 5.1 foi feito separadamente e posteriormente estas foram agregadas em um mesmo arquivo renomeado com a data de passagem do respectivo satélite no município, através da ferramenta “Layer Stacking” contida nas ferramentas básicas do programa ENVI 4.3. Os novos parâmetros das imagens foram definidos para Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), datum SAD 69, unidades em metros e zona 23 Sul. A projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) foi utilizada no presente estudo por ser a mais disseminada. Há estudiosos que defendem sua utilização em virtude da necessidade de padronizar os mapeamentos (LOCH, 1994 apud FEITOSA, 2000).

O tamanho de pixel foi uniformizado em 14,25 metros em todas as imagens utilizadas, levando em conta a maior resolução espacial da banda pancromática da imagem ETM+ de 2000, em procedimento padrão, uma vez que não se perde a informação de mais detalhe e não

se modifica a informação de menos detalhe e torna possível seu cruzamento. Permitiu ainda a fusão das bandas espectrais da imagem ETM+, de 2000, com a imagem pancromática.

As imagens foram georreferenciadas tendo como base a imagem ETM+ do ano de 2000 do GLCF que possui uma qualidade geométrica superior às demais por ter sido ortorretificada. O georreferenciamento das imagens foi feito através da ferramenta Registro, selecionando pontos de controle de imagem para imagem. Foram selecionados, por imagem a ser georeferenciada, um total de 80 pontos distribuídos uniformemente por toda a extensão da imagem com o RMS (do inglês root mean square ou resíduo médio quadrático) final $< 0,5$ pixel, como indicado por Cruz, Barros e Reis (2005) e Eastman (1994).

Após o georreferenciamento as imagens foram recortadas para a mesma área exata através da ferramenta “Resize” data onde foram escolhidas as novas dimensões das imagens pelo subset espacial usando as coordenadas superiores esquerda e inferiores direita da imagem base ETM+ de 2000.

5.2.3 - CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO

A identificação dos grandes afloramentos rochosos, como os pães de açúcar na região do pico do Cairuçu e na porção leste do saco do Mamanguá, foram identificados em pares estereoscópicos das fotografias aéreas pancromáticas 1:60.000, com o auxílio de estereoscópio de espelho do Instituto de Geociências da USP. Após identificação, as áreas relativas aos afloramentos foram transpostas, em ambiente SIG, para as cartas, com a identificação das áreas correspondentes nas imagens orbitais, uma vez que nestas partes dos afloramentos confundia-se com respostas espectrais de solo exposto, o que levaria a introduzir um erro importante.

As imagens da tabela 4.1 foram utilizadas para a elaboração das cartas de uso e cobertura do solo. Para tal, foram criadas composições coloridas em cores reais (RGB bandas

no vermelho, verde e azul) e/ou falsa cor (RGB bandas no infravermelho próximo, vermelho e verde) das imagens da tabela 4.1. Para a imagem do ano de 2000 do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 foi feita a fusão da banda 8 (pancromática e com resolução espacial de 14,25 metros) nas composições coloridas geradas anteriormente, utilizando o método HSI, no qual uma imagem no espaço RGB é remetida ao espaço HSI (Hue ou matiz, Saturation ou pureza de cor e Intensity ou brilho de pixel).

Antes de se retornar ao espaço RGB é substituída a imagem I pela pancromática de maior resolução espacial. Com isso mantém-se a maior parte da resposta espectral, passa-se a ter a melhor resolução espacial e se ganha em interpretabilidade. O uso desta ferramenta nas demais imagens dos satélites da série Landsat e a intensidade das mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo levaram a resultados de pior interpretação.

O uso e cobertura do solo foram mapeados através de análise visual das texturas, tonalidades, cores, formas, padrões, sombreamentos e contextos presentes nas diversas composições coloridas. A ferramenta Regiões de Interesse do programa ENVI 4.5 foi utilizada na delimitação e vetorização dos polígonos representando cada classe de uso e cobertura do solo.

As classes de uso e cobertura do solo foram divididas em vegetação densa, vegetação em recuperação, ocupação humana (que inclui tanto ocupação rural quanto urbana), estrada, praias e costões rochosos e rocha exposta. Posteriormente os arquivos de regiões de interesse foram convertidos para o formato “shape” do programa ArcGis 9.2, criando os planos de informação das cartas de uso e cobertura do solo das diferentes épocas estudadas. Além de estarem incluídos no cruzamento para a geração das cartas de suscetibilidade, esses mapas foram também utilizados para analisar e quantificar alterações de uso e cobertura do solo no período de 1973 a 2008.

Os dados e pontos de campo foram plotados em ambiente ARCGIS 9.2 e as fotos foram listadas nas planilhas relacionadas aos arquivos shape. As fotografias foram relacionadas às suas coordenadas com o objetivo de confirmar as informações de uso e cobertura do solo obtidas com a interpretação e classificação visual das imagens de satélite e cicatrizes de movimentos de massa.

5.2.4 - CARTA DE DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS

Foi criada uma carta de descontinuidades estruturais (falhas, fraturas e lineamentos em geral) objetivando a delimitação de áreas com maior incidência de pontos de fraqueza e junção de estruturas que facilitem a ação das águas pluviais na percolação e alteração do maciço rochoso. Esta carta foi gerada a partir da interpretação visual de imagem impressa da banda do infravermelho próximo da imagem ETM+ de 2000 na escala de 1:50.000. O mapeamento e vetorização das descontinuidades foram realizados através da ferramenta “Regiões de Interesse” do programa ENVI 4.3, onde foram traçadas as descontinuidades encontradas na imagem. Posteriormente o arquivo de regiões de interesse foi convertido para o formato “shape” do programa ArcGis 9.2.

5.2.5 - CARTAS DE DECLIVIDADE E CURVATURA DE ENCOSTAS

Foram testados dois modelos digitais de elevação (MDEs) o MDE/SRTM e o MDE/ASTER.

As imagens SRTM foram adquiridas gratuitamente do site do Global Land Cover Facility (GLCF) através da Earth Science Data Interface (ESDI) no link <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Os dados originais foram obtidos em formato raster em forma de MDE, projeção geográfica, datum horizontal WGS84 com resolução espacial de 3 arcos/segundo correspondente a 90 metros (REIS et al., 2005; CRUZ;

BARROS; REIS, 2005). No programa ENVI 4.3, seus ruídos, que geram no modelo pontos com valores de altimetria muito altos ou negativos, foram corrigidos. Esta correção pôde ser feita no Menu Topographic / Replace Bad Values onde então é definido o intervalo de -999999999999999999 até 0 (ANDRADES FILHO; GUASSELLI; SUERTEGARAY, 2007).

As imagens que compõem o MDE/SRTM da área do município foram mosaicadas e o mosaico foi reamostrado para 1 arco/segundo (30 metros) por interpolação bilinear e exportado com extensão TIFF/GEOTIFF reconhecida pelo programa ArcGis 9.2. A transformação da projeção para UTM e datum SAD 69 só pôde ser feita após a criação de seus produtos em ambiente ArcGis pois ao fazer a transformação eram criados atributos lineares no MDE/SRTM.

Através da utilização da imagem óptica do sensor ASTER do satélite TERRA foram obtidos os MDEs ASTER de 15 e 30 metros de resolução espacial através da ferramenta ASTER DTM desenvolvida pela empresa Sulsoft embutida no programa ENVI 4.3. Os dois MDEs gerados foram posteriormente comparados com o MDE/SRTM com resolução de 1 arco/segundo. Os MDEs foram exportados no formato TIFF/GEOTIFF reconhecida pelo programa ArcGis 9.2. O mosaico dos MDEs das imagens ASTER foram executados no programa ARCGIS 9.2.

A partir dos MDEs do SRTM de 30 metros e do ASTER de 15 e 30 metros, em ambiente ARCGIS 9.2 foram criadas as cartas de declividade e curvatura de encostas através da extensão “*spatial analyst*” utilizando as ferramentas *slope* e *curvature*, respectivamente. Seus produtos foram comparados entre si assim como os MDEs.

5.2.6 - BANCO DE DADOS

Foi então elaborada uma base de dados com o mapa geológico, as cartas de uso e cobertura do solo dos anos de 1973, 1986, 1993, 2000, 2007 e 2008, a carta de

descontinuidades estruturais, as cartas de declividade e curvatura geradas pelos MDEs SRTM (30 metros de resolução espacial) e ASTER (15 e 30 metros de resolução espacial), em ambiente ARCGIS 9.2 contendo os diversos planos de informação, em formato digital, devidamente georeferenciados.

5.2.7 - RE-CLASSIFICAÇÃO

Todos os produtos gerados foram reclassificados em três classes de importância (baixa, média e alta), de acordo com a suscetibilidade dos mesmos em relação à ocorrência de eventos de escorregamento.

5.2.7.1 - MAPA GEOLÓGICO

As áreas de Mangues, Aluviões, Sedimentos flúvio-marinhos e cordões marinhos e praias foram consideradas áreas de baixa probabilidade a ocorrência de escorregamentos. As áreas sob o domínio dos granitos Mambucaba, Carrasquinho e Paraty Mirim de média probabilidade de ocorrência de escorregamentos. As áreas dominadas por gnaisses, xistos e gnaisses xistosos, granitos com anisotropia descrita (como o Granito Serra da Bocaina) e por colúvios aluvionares foram consideradas áreas de alta probabilidade à ocorrência de escorregamentos. A classificação foi feita em função da topografia associada a cada rocha ou sedimento, a sua anisotropia e, com relação aos colúvios, seu comportamento explicitado na literatura.

5.2.7.2 - USO E COBERTURA DO SOLO

Para as classes de uso e cobertura do solo, às áreas com vegetação densa (incluindo manguezais) e praias e costões rochosos foi atribuído o peso de baixo impacto; para as classes vegetação em recuperação, ocupação humana (que inclui tanto ocupação rural quanto urbana)

e rocha exposta, peso de médio impacto; enquanto que as estradas foram consideradas com alto potencial de impacto. Essa classificação foi baseada no trabalho de campo, onde se verificou não haver ocupação significativa de encostas em áreas de médias e altas declividades, as quais são ocupadas por uso agrícola e pecuário sem interferência no relevo, apenas retirada de vegetação, o que já compreende uma forma de alteração das condições naturais do terreno, porém ainda sem necessidade de execução de corte e aterro. As estradas foram consideradas de alto impacto por terem sido constatadas cicatrizes de escorregamentos, obras de contenção e escorregamentos ativos ao longo de diversas vias de acesso, tanto na BR 101 como nas estradas secundárias.

5.2.7.3 - CARTA DE DECLIVIDADE

As classes de declividade foram separadas em baixa probabilidade (intervalos de declividade de 0° a 20°), média probabilidade (intervalos de 20° a 30°) e alta probabilidade (áreas com declividades acima de 30°), adaptado de Augusto Filho (2005).

5.2.7.4 - CARTA DE CURVATURA DE ENCOSTAS

Foram consideradas de baixa probabilidade de ocorrência de escorregamentos encostas retilíneas, de média probabilidade as encostas convexas e de alta probabilidade as encostas côncavas, tendo como base o estudo de Augusto Filho (2005).

5.2.7.5 - CARTA DE DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS

No Plano de Informação (PI) referente ao cruzamento de informações derivados do resultado da orientação de vertentes, estruturas e foliações encontradas na imagem de 2000, foram consideradas de baixa suscetibilidade áreas sem estruturas; com média suscetibilidade

as áreas com apenas 1 (uma) estrutura e alta, as muito estruturadas e com cruzamento de estruturas, adaptado de Pradhan, Singh e Buchroithner (2006).

Com isso, elaborou-se a coleção de mapas temáticos, base para a elaboração da carta de suscetibilidade a escorregamentos do município de Paraty.

5.2.8 - COMPOSIÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE

Foram geradas seis cartas de suscetibilidade considerando o uso e cobertura do solo nos anos de 1973, 1986, 1993, 2000, 2007 e 2008 para cada um dos MDEs utilizados (MDE SRTM 30, MDEs ASTER 30 e 15).

Segundo Kazmierczak e Seabra (2007) a suscetibilidade é acumulativa. Portanto para a geração da Carta de Suscetibilidade a Escorregamentos os PIs foram cruzados através da utilização da ferramenta raster calculator, onde foram somados. Na soma todos os indicadores receberam o mesmo peso, afetando da mesma forma a suscetibilidade computada pelo índice, com exceção da declividade que teve seu peso dobrado, pois foi considerada como o atributo mais importante envolvido na deflagração de escorregamentos (AUGUSTO FILHO, 2005).

Uma chave de classificação foi criada com três classes de suscetibilidade a escorregamentos, baixa, média e alta (Anexo 1), permitindo a elaboração da série de 18 cartas de suscetibilidade a escorregamentos considerando a ocupação do solo nas várias datas de imagens e os diferentes MDEs. Para cada carta foram calculadas as áreas de cada classe de suscetibilidade, bem como as áreas ocupadas e não ocupadas nas diversas datas dentro das áreas de baixa, média e alta suscetibilidades.

5.2.9 - DADOS DE PLUVIOSIDADE

Dai et al. (2002) indicam que em trabalhos em escala regional é mais indicado que se use suscetibilidade como probabilidade de movimentos de massa omitindo os fatores de gatilho, portanto a pluviosidade não foi incluída no cruzamento para a obtenção da carta de suscetibilidade por não ser considerada um agente condicionante e sim o principal agente deflagrador dos escorregamentos.

Assim os dados de precipitação diária cedidos pela Defesa Civil de Paraty foram analisados e cartas mensais de pluviosidade foram geradas em ambiente ArcGis através da plotagem dos pontos de coleta entre os meses de setembro de 2007 e julho de 2008 apenas como complemento de informação. Os dados plotados nas localidades externas ao município foram calculados a partir da média da pluviosidade mensal baseado nos dados disponibilizados pelo DAEE - SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) através do site <http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/hidrometeorologia/index.htm> e dos dados retirados do plano de manejo do PARNA da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000).

Os valores plotados para cada mês em que houve coleta, para todo o período de dados, assim como, considerando apenas o período do verão (mais chuvoso), entre 21 de dezembro de 2007 a 20 de Março de 2008, foram interpolados através da ferramenta *Interpolation* pelo método *Spline* do ArcGis 9.2, que considera a proximidade (bi-linear) nos eixos x e y para interpolar o valor de z. Com isso puderam ser criados modelos digitais da pluviosidade de cada mês entre outubro de 2007 e julho de 2008. O método *Spline* foi escolhido em detrimento dos demais métodos disponíveis no programa, pois foi o que mais se ajustou aos dados estudados.

O mapa de isoietas do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) foi digitalizado em ambiente ARCGIS 9.2. Este, assim como o mapa da estação do verão de 2007/2008, foi

cruzado com a carta de suscetibilidade de 2008 com o objetivo de indicar os locais que associados aos índices de pluviosidade podem indicar um maior risco de escorregamentos, apenas como indicativo.

Para o cruzamento, o mapa de isoietas do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) foi reclassificado em três classes de influência na suscetibilidade dos terrenos, influência baixa na suscetibilidade a escorregamentos na faixa de pluviosidade entre 1600 e 1900 mm por ano; influência moderada na faixa de pluviosidade entre 1900 e 2100 mm ao ano; e influência alta na faixa de pluviosidade acima de 2100 mm ao ano. Para o período do verão, adaptando os dados cedidos pela Defesa Civil de Paraty ao método apresentado em Crepani et al. (2001), foram utilizadas as mesmas classificações mas com as respectivas faixas de pluviosidade, entre 0 mm e 675 mm, entre 675 mm e 1200 mm e acima de 1200 mm.

Além disso, foram analisadas as datas e locais onde ocorreram eventos de precipitação diária superiores a 75 mm como o indicado em Soares (2006), eventos de precipitação diária superiores a 100 mm e eventos de precipitação acumuladas em 15 dias consecutivos superiores a 200 mm indicados em Lumb (1975, apud SOARES, 2006) e também ocorrências de eventos de precipitação acima de 75 mm no 16º dia do acumulado anterior. Este último é uma combinação dos índices anteriores não tendo sido indicado em bibliografia.

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

6.1 - USO E COBERTURA DO SOLO

O município possui cerca de 922 Km² onde diversas classes de uso e coberturas do solo ocorrem. Baseando-se nas cartas de uso e cobertura do solo obtidas (Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17), pôde-se calcular a representatividade das diversas classes consideradas e sua evolução no período estudado (Tabela 5).

Tabela 5 - Áreas em Km² das diversas classes de uso e cobertura do solo do município de Paraty entre os anos de 1973 e 2008.

Classe de uso e cobertura do solo /ano (em Km ²)	1973	1986	1993	2000	2007	2008	2008/1973 *	1973/2008 ** (%)
Vegetação densa (inclusive mangues)	777,1	666,4	649,3	650,1	613,4	597,1	0,77	-23
Porcentagem de área florestada	84,3	72,3	70,4	70,5	66,5	64,8		
Rochas expostas	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	19,28	1,00	0
Praias e costões rochosos	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	1,00	0
Ocupação Humana	115,3	230,8	247,9	247,1	283,0	299,4	115,3	160
Estrada	7,25***	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	0,33	-67
Vegetação em Recuperação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,72	-	-

* área ocupada em 2008 com base na área inicial ** evolução percentual entre 1973 e 2008

***em construção

As áreas ocupadas por rochas expostas, praias e costões rochosos naturalmente se mantiveram inalteradas. A variação na área florestada e na de ocupação humana, mesmo que teórica (como os grandes pastos não utilizados em meio ao PNSB), sofreram variação intensa ao longo do período analisado, com intensidades/velocidades variáveis.

Analisando a Tabela 6.1 vê-se que ao longo dos 35 anos entre 1973 e 2008 o município perdeu 23% de suas florestas. Em 1973, apesar de estar sendo construída a rodovia BR101, com enorme interferência no meio físico e nas florestas, Paraty tinha 84,3% de sua área recoberta por florestas. Em 2008 apenas 64,8 % e em rápida queda, maior que logo após o virtual isolamento em que vivia o município. É talvez o número mais chocante e preocupante.

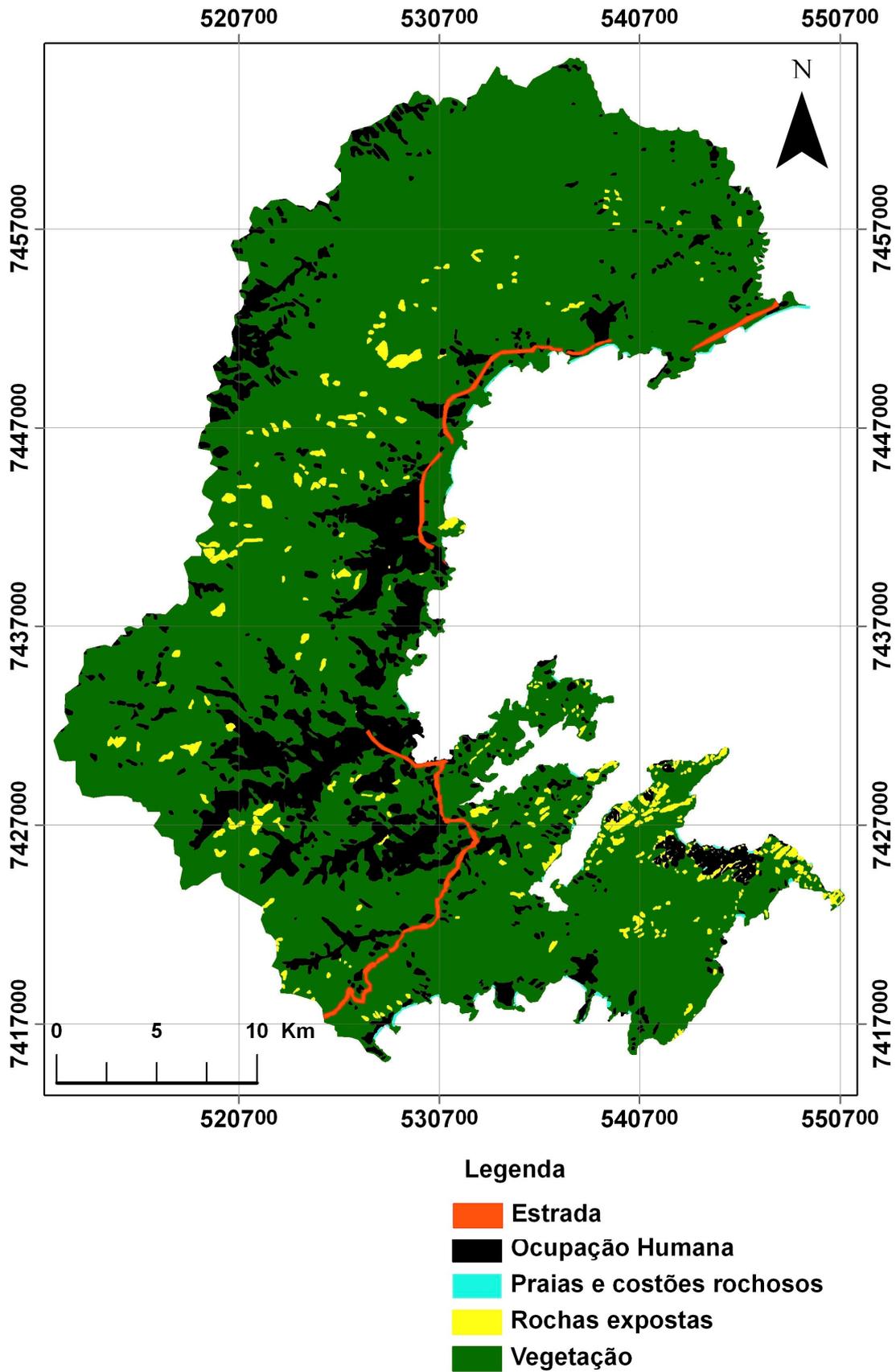


Figura 12- Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 1973

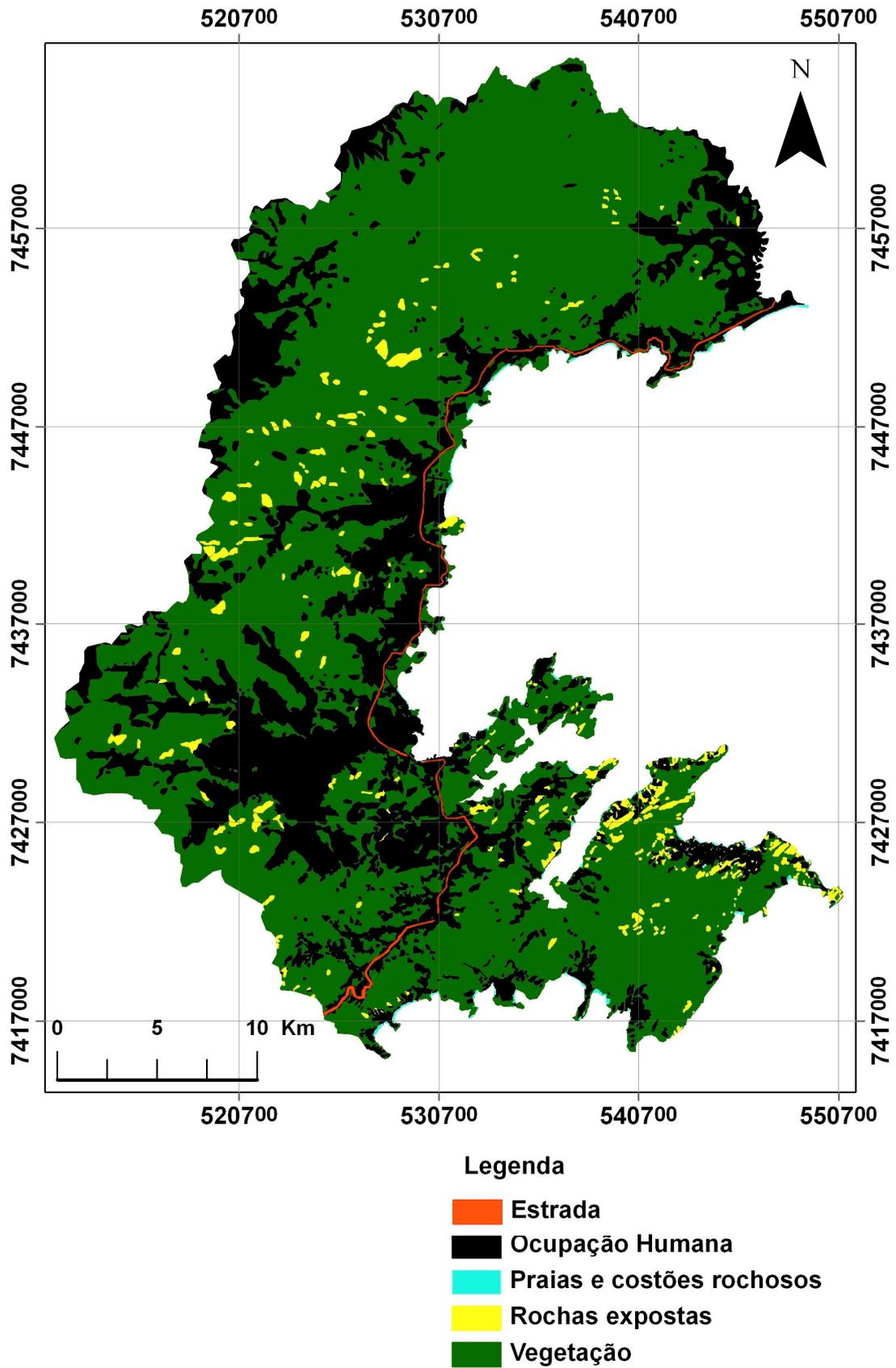


Figura 13- Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 1986.

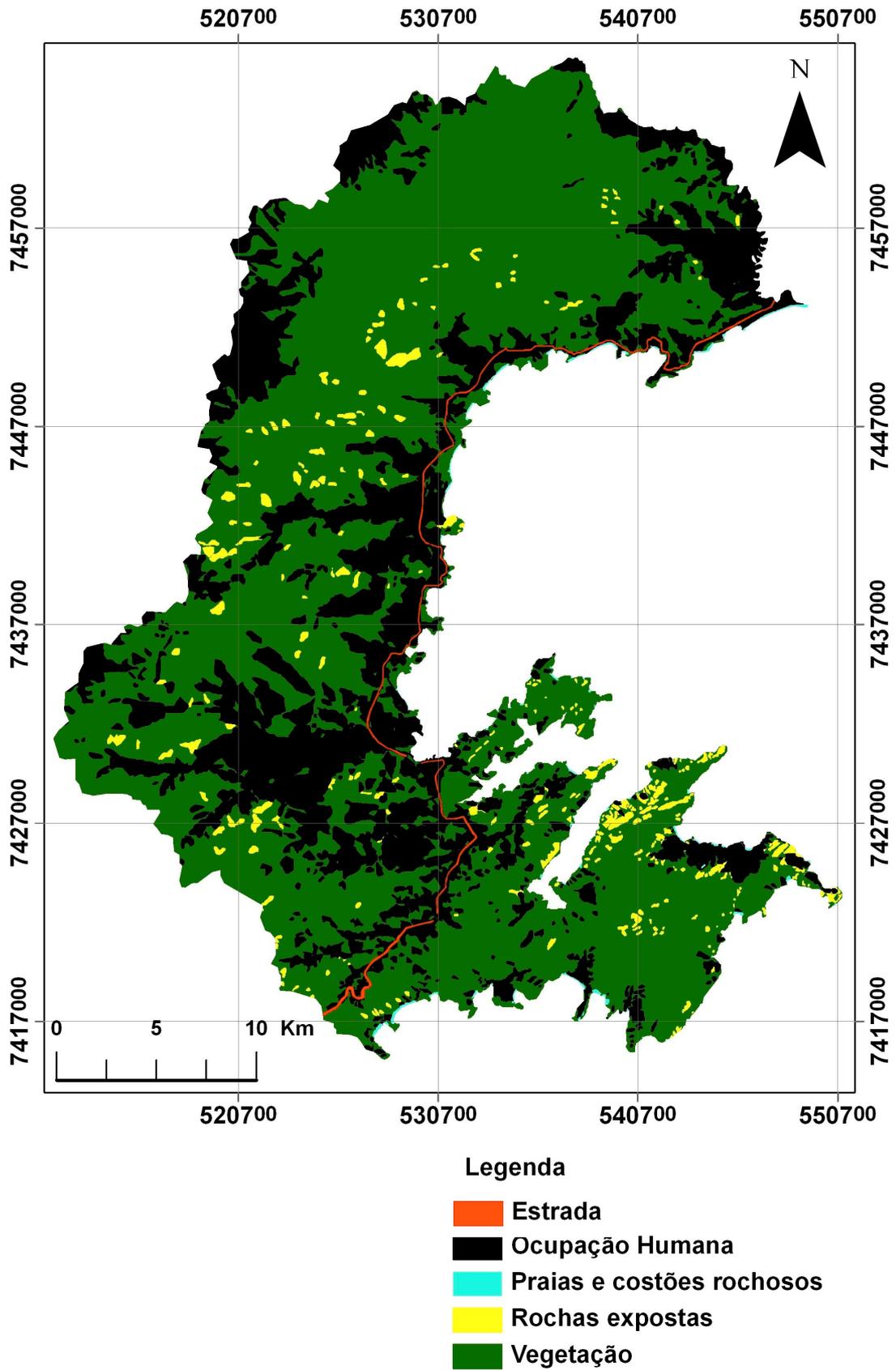


Figura 14 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 1993.

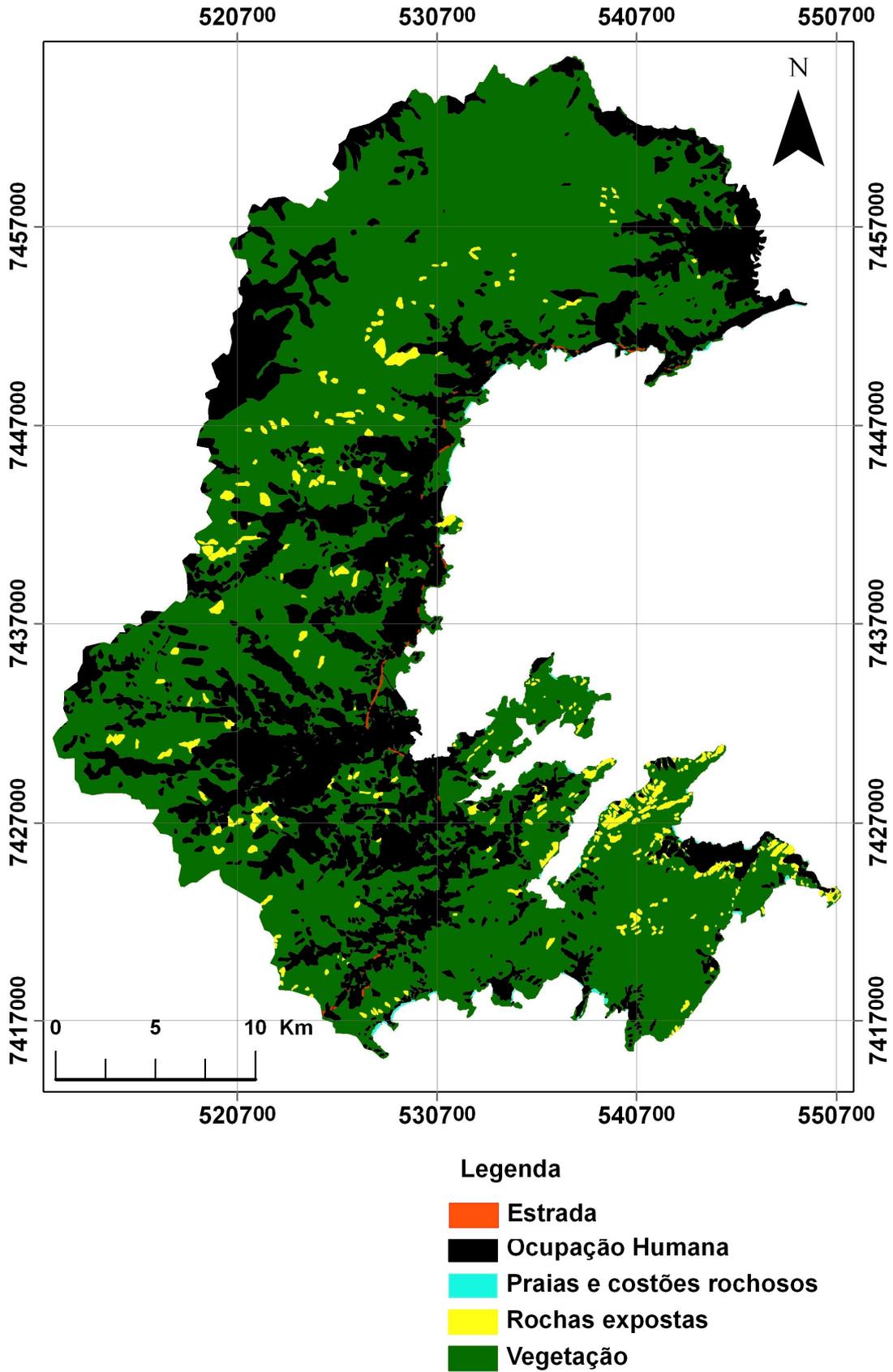


Figura 15 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 2000.

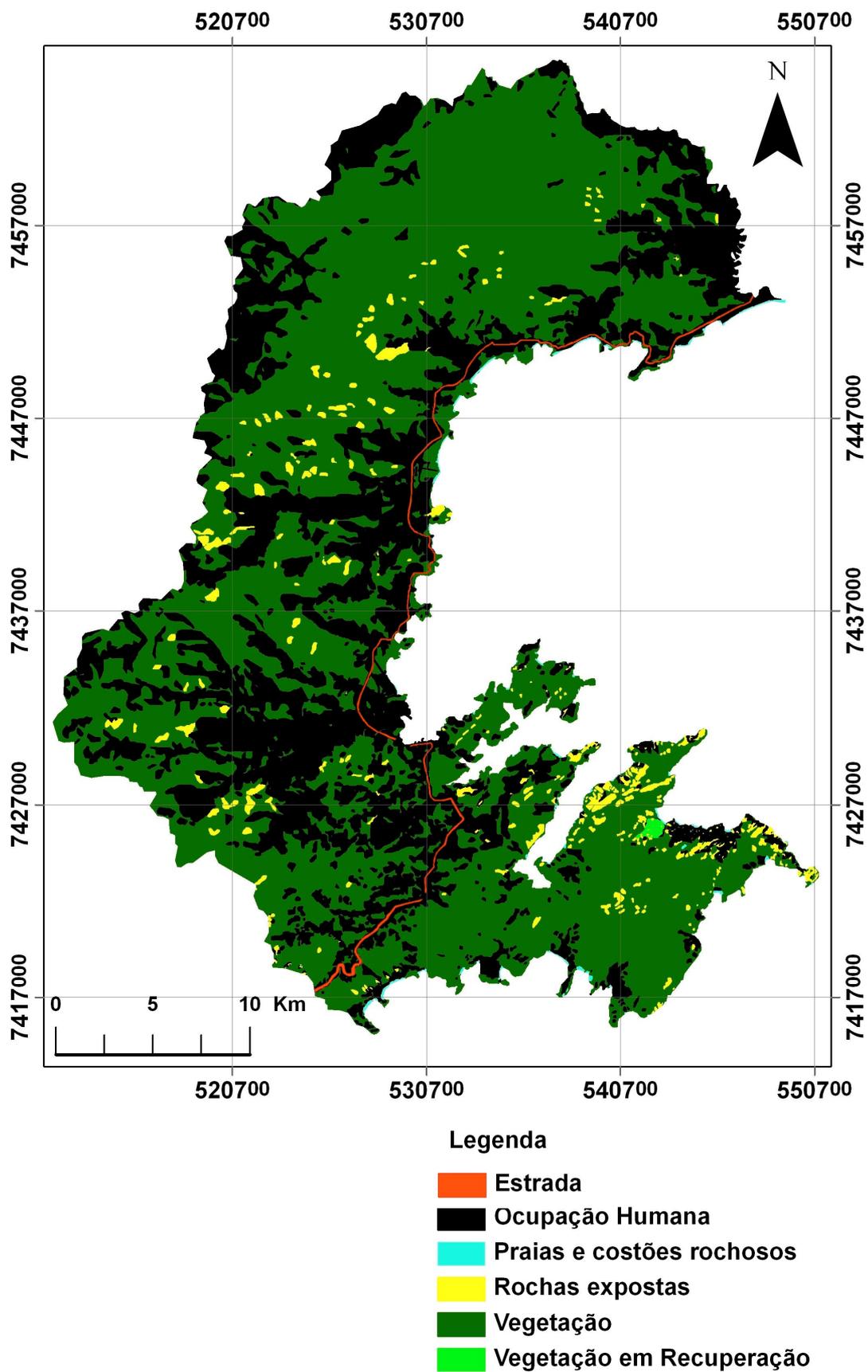


Figura 16 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 2007.

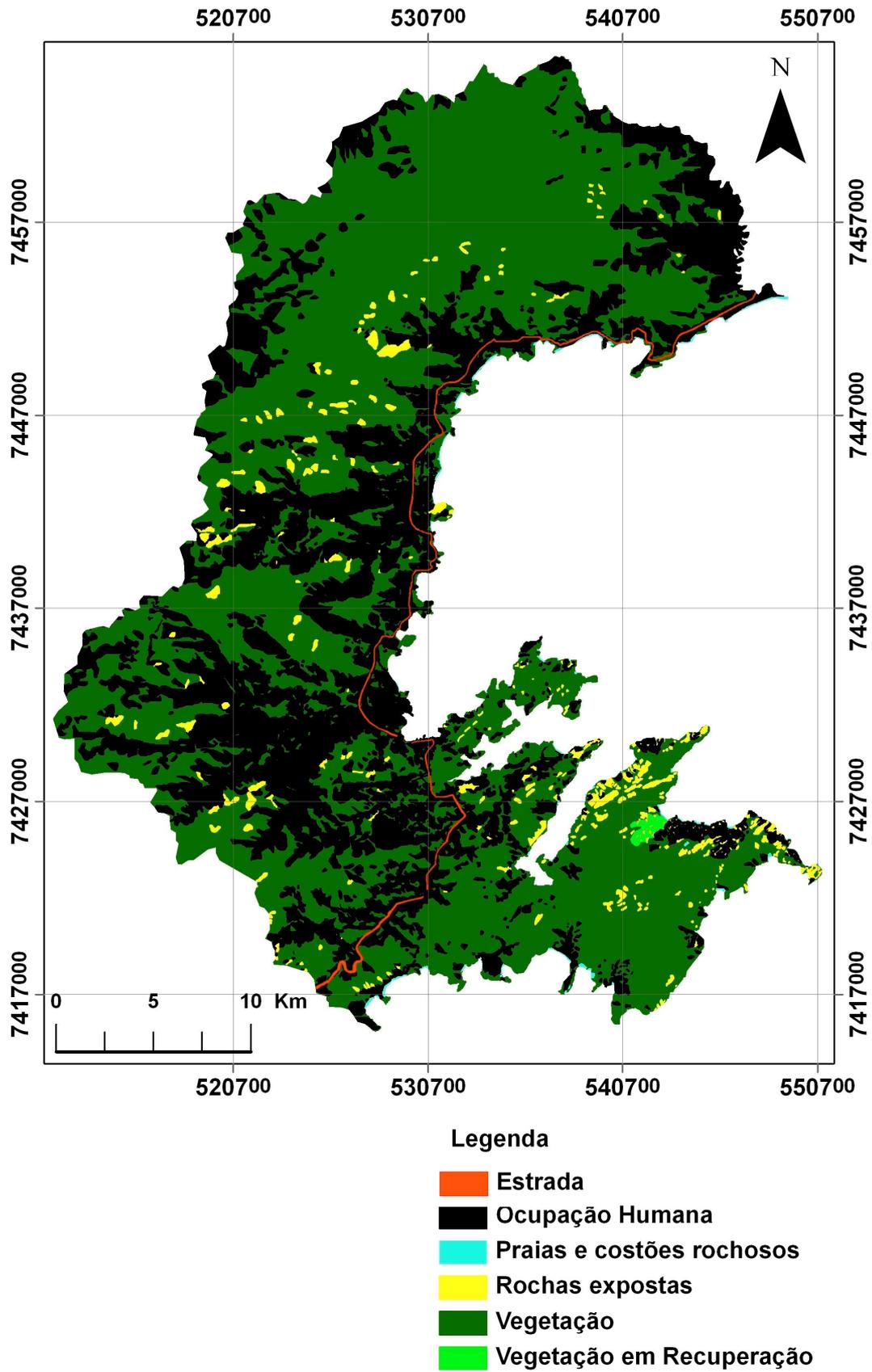


Figura 17 - Carta do uso e cobertura do solo do município de Paraty referente ao ano de 2008.

A área recoberta por formações florestais, incluindo mangues, diminuiu em 14,3% entre 1986 e 1993, com uma perda média anual de 1,2%. Permaneceu estável entre 1993 e 2000, possivelmente refletindo o empenho do Estado em proteger o patrimônio florestal do município, com a criação de áreas protegidas. Entretanto, voltou a cair 5,6% entre 2000 e 2007, com uma perda anual de 0,9% das florestas, e 2,7% entre 2007 e 2008, registrando a maior queda do período estudado.

O comportamento do período como um todo deixa claro a existência de diferentes fases quanto ao respeito às florestas: o sucesso inicial na proteção às florestas começa a se perder no período 2000-2007 e a queda entre 2007 e 2008, caso não tenha sido agravado por se tratar de estimativas feitas sobre dois sensores diferentes, indica uma nova fase de desmatamento no município, muito mais intensa que logo após o fim do isolamento. O percentual de perda de vegetação após a abertura da BR-101 foi de 23%. A Figura 18 mostra a ocupação de mangue, área de preservação permanente por lei federal localizada dentro da Área de Proteção Ambiental do Cairuçu, ou seja, uma área duplamente protegida.



Figura 18 – Mangue sendo ocupado no município de Paraty, dentro da Área de Proteção Ambiental do Cairuçu.

Na Figura 19 há outro exemplo de ocupação ilegal, de terreno de marinha, com uma casa de turismo de segunda residência de classe alta, que aparentemente não interfere no

ambiente, mas está associada à construção de uma estrada de acesso e ao aterro de um manguezal para a formação da praia.



Figura 19 – Ocupação ilegal com destruição de mangue para a construção de praia e estrada de acesso.

Um aspecto preocupante é a aceleração do processo de desmatamento após o ano de 2000, já com as unidades de conservação estando implantadas. Considerando os 35 anos do período estudado houve uma perda anual média de 0,7% da cobertura vegetal densa e, entre 2000 e 2007, de 0,9%. Observa-se que excluindo os dados de 2008 a perda anual média de floresta foi de 0,6%, o que torna mais significativa a retomada do desflorestamento a partir de 2000, com a taxa de 0,9% entre 2000 e 2007.

No que diz respeito à ocupação humana, entre 1973 e 1986 esta aumentou em 100,8%, refletindo o fim do isolamento da cidade. No período seguinte, entre 1986 e 1993, a ocupação humana se expande em 7,4% com uma pequena redução de 0,3% da área ocupada entre 1993 e 2000. A ocupação volta a se expandir em 14,6% entre 2000 e 2007 e em 5,8% entre 2007 e 2008. A abertura da BR-101 influenciou decisivamente nessa expansão de 160% em 35 anos.

Analisando a taxa de aumento anual da ocupação humana para todo o período estudado encontra-se 4,6% nestes 35 anos, sendo que entre 1973 e 1986 a área ocupada pela população cresceu 7,8% ao ano e de 1986 a 1993 houve um crescimento de 1,1% ao ano contrastando com a estabilidade ocorrida entre os anos de 1993 e 2000. Entre 2000 e 2007 essa taxa cresce novamente passando a 2,1% ao ano e entre 2007 e 2008 atinge 5,8%. Esse quadro mostra que o “boom” turístico ocorrido em Paraty com a abertura da BR101 resultou na grande expansão da população humana entre 1973 e 1986. Nos anos seguintes esse crescimento foi menos agressivo, mas houve uma mudança a partir de 2000 e particularmente entre 2007 e 2008. É necessária a continuação do monitoramento do uso e cobertura do solo no município a fim de determinar se esse crescimento expressivo de 2007 para 2008 se manterá ou se foi atípico.

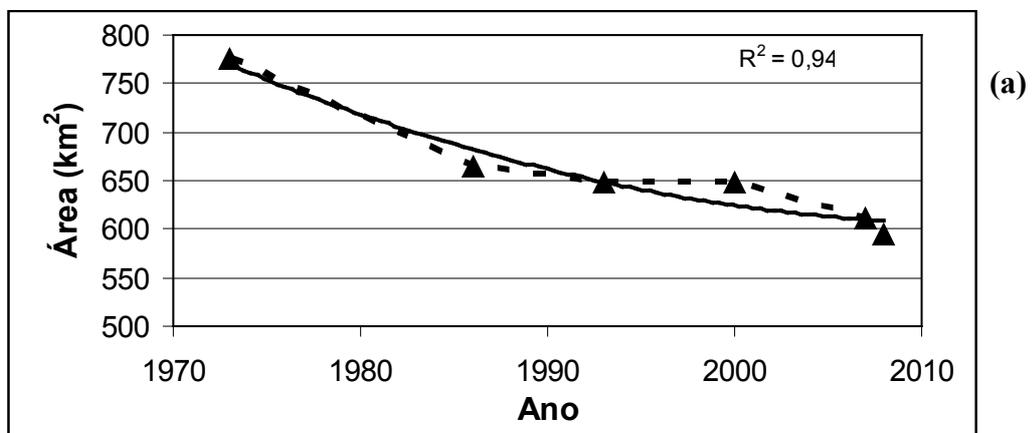
As Figuras 20a e 20b ilustram a discussão acima, mostrando as diferentes fases do aumento da área com ocupação antrópica ou sem floresta, já que há extensas áreas em que ao desmatamento seguiu-se apenas a formação de pastos e sem qualquer atividade pecuária real (Figura 21a e Figura 21b).

O fato do mapa do uso e cobertura do solo de 2000 apresentar um padrão diferente dos demais poderia estar ligado à melhor resolução espacial das composições coloridas utilizadas na sua confecção, pois com a fusão da banda pancromática com 14,25 metros houve uma melhora em sua resolução espacial. A intensa variação entre 2007 e 2008 poderia estar refletindo a diferença de resolução espacial entre as imagens utilizadas. Enquanto a imagem TM de 2007 possui 30 metros de resolução espacial as bandas no visível e infravermelho próximo da imagem ASTER de 2008 possuem 15 metros.

Observe-se que a causa aventada para os desvios à tendência geral nestas imagens de melhor resolução espacial não é uma proposta de explicação, pois os desvios ocorrem para dois lados. O que se pretende é, apenas, considerar que diferentes tamanhos de *pixels* podem

gerar respostas diferentes. Excluindo-se estas duas imagens, sobre as quais poderia haver dúvidas em função das diferentes resoluções (Figura 6.7B), o comportamento padrão ao longo dos 35 anos, indicado por uma linha de tendência polinomial (2º grau) de R^2 elevado, pouco se altera. Ou seja, excluindo-se aquelas imagens o comportamento geral é o mesmo, indicando que numa análise de longo prazo estes desvios de comportamento, tanto para o lado conservacionista (2000) quanto para o de desmatamento mais acelerado (2008), indica uma tendência geral ao desmatamento contínuo.

Entretanto, quando consideradas todas as imagens, esta evolução leva a uma leitura claramente suportada pelos trabalhos de campo: passado um momento de estabilidade na década de 1990 o desmatamento vem aumentando, da mesma forma que a ocupação real do meio físico, refletindo o *boom* turístico nesta década de 2001-2010. Para uma melhor avaliação da gravidade desta tendência foi calculada a área de florestas para 2016 e 2024 mantendo-se o padrão encontrado entre 2000 e 2008 (justamente os mapas feitos sobre imagens com melhor resolução espacial, ou seja, mais próximos da realidade): em 2008 haveria 471 km² e 371 km², em 2024; respectivamente, 61% e 48% da área de florestas que havia em 1973, ocasião em que ocorria a construção da rodovia BR-101, com intenso desmatamento.



(b)

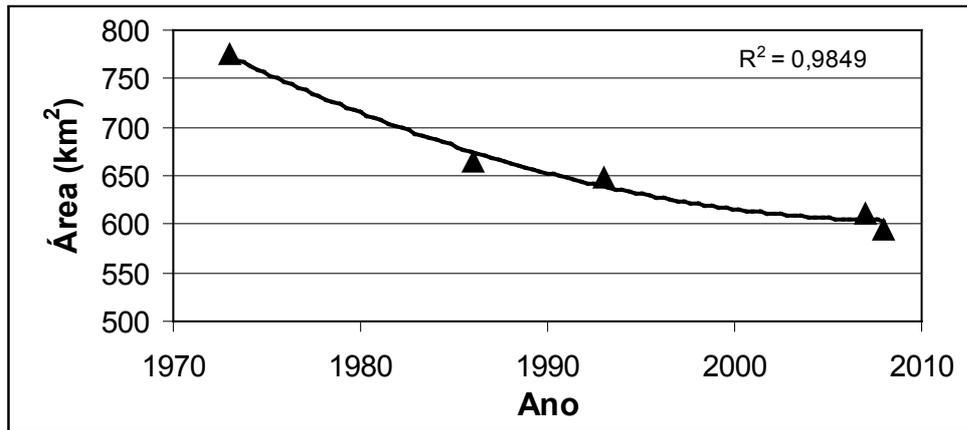


Figura 20a (superior) e Figura 20b (inferior) – Evolução entre 1973 e 2008 da área recoberta por vegetação densa com tendência de evolução segundo polinômio de 2º grau e desvio médio quadrático. Em (a) considera-se a tendência apresentada em todas as imagens e em (b) com exclusão dos anos de 2000 e 2008, anômalos na série. Observar um R^2 elevado em ambas as figuras.



Figura 21a (esquerda) e Figura 21b (direita) – Desmatamento de áreas dentro do Parque Nacional da Serra da Bocaina para pastos não utilizados.

Na área ocupada por estradas, onde predomina a BR 101, observa-se que durante sua fase de construção (informada na imagem de 1973) a área ocupada era muito maior do que a ocupada efetivamente após sua construção. Entre 1973 e 1986 a área ocupada diminuiu em 66,9% e se estabilizou ocupando 2,40Km² até os dias atuais dentro da área do município.

A área de vegetação em recuperação aparece entre 2000 e 2007, representando a área antigamente ocupada por roças de uma comunidade caiçara na região do Pouso da Cajaíba,

expulsa por grileiros. A área acabou ficando abandonada, possuindo atualmente apenas duas famílias residentes, como verificado nos trabalhos de campo (Figura 22).



Figura 22 – Área de vegetação em recuperação.

6.2 - GEOLOGIA

No município predominam os gnaisses em 335,41 Km² e os granitos. Estes últimos se dividem em granitos sem identificação com uma área de 282,39 Km², Granito Parati Mirim com 116,24 Km², Granito Carrasquinho (22,43 Km²), Granito Mambucaba (19,49 Km²) e Granito Serra da Bocaina (5,21 Km²). Seguem-se os colúvios que ocupam uma área de 51,99 Km² do município, os xistos e gnaisses xistosos com 36,25 Km², cordões marinhos e praias em 21,81 Km², sedimentos flúvio-marinhos em 21,23 Km², alúvios em 6,53 Km² e áreas de sedimentos de manguezais em 3,03 Km². Essa divisão litológica foi baseada na descrição do Plano de Manejo do PNSB (BRASIL, 2000), cujo mapa geológico está na Figura 23. As litologias pouco suscetíveis a escorregamentos cobrem 5,7 % do município, as medianamente suscetíveis estão presentes em 17,2 % e as altamente suscetíveis 77,1 % do município.

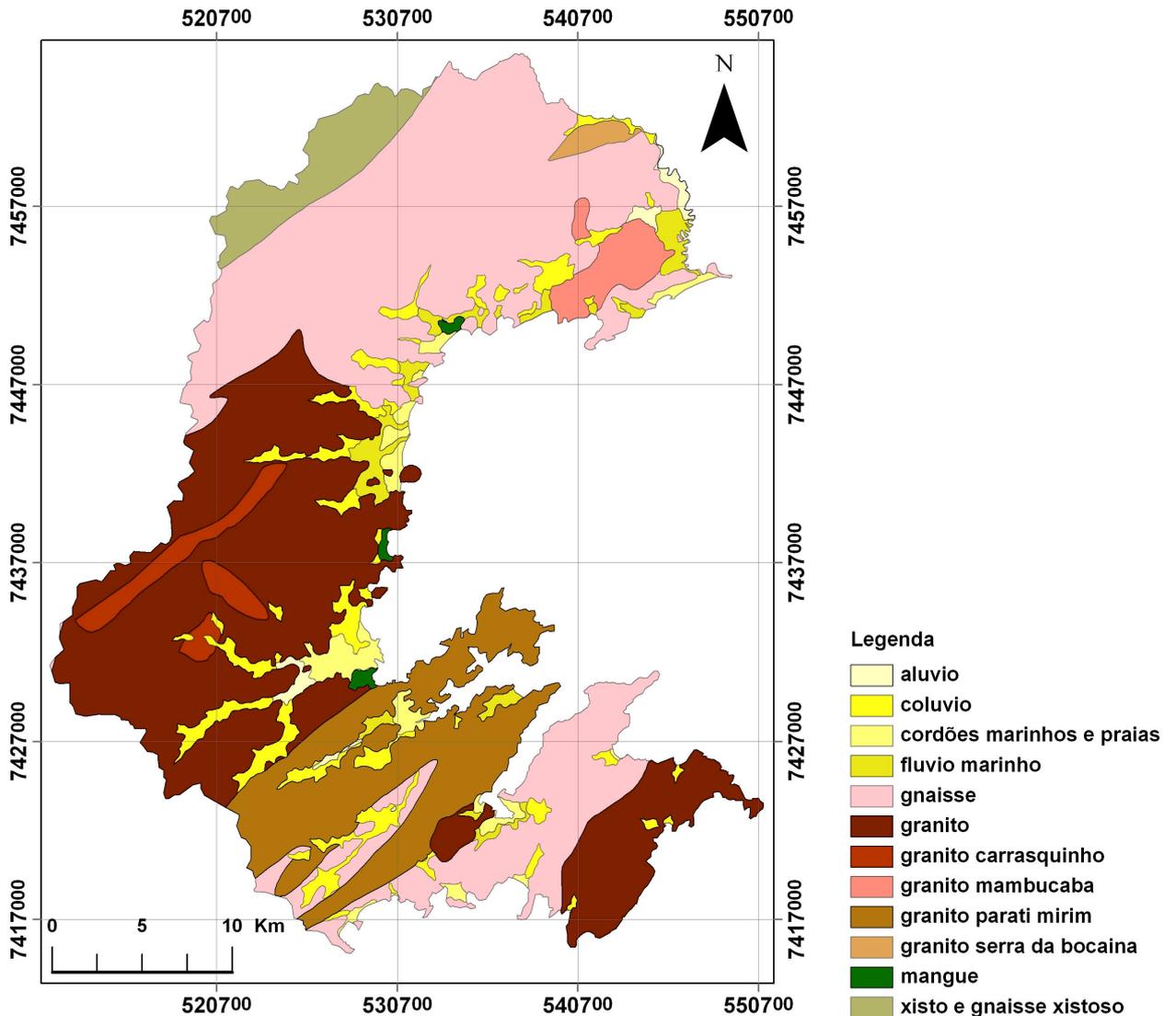


Figura 23 – Mapa Geológico do Município de Paraty (fonte: BRASIL, 2000).

6.3 - DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS

A carta de descontinuidades estruturais (falhas, fraturas e lineamentos em geral) dividiu o município em 29,9 % (275,70 Km²) de áreas sem lineamentos observados e consideradas de baixa suscetibilidade a escorregamentos; 28,5 % (262,61 Km²) de áreas com no mínimo um lineamento e sem cruzamento de lineamentos e consideradas de média suscetibilidade a escorregamentos e, finalmente, 41,6 % (383,69 Km²) de áreas muito

estruturadas e com cruzamentos entre lineamentos, classificadas como de alta suscetibilidade a escorregamentos (Figura 24).

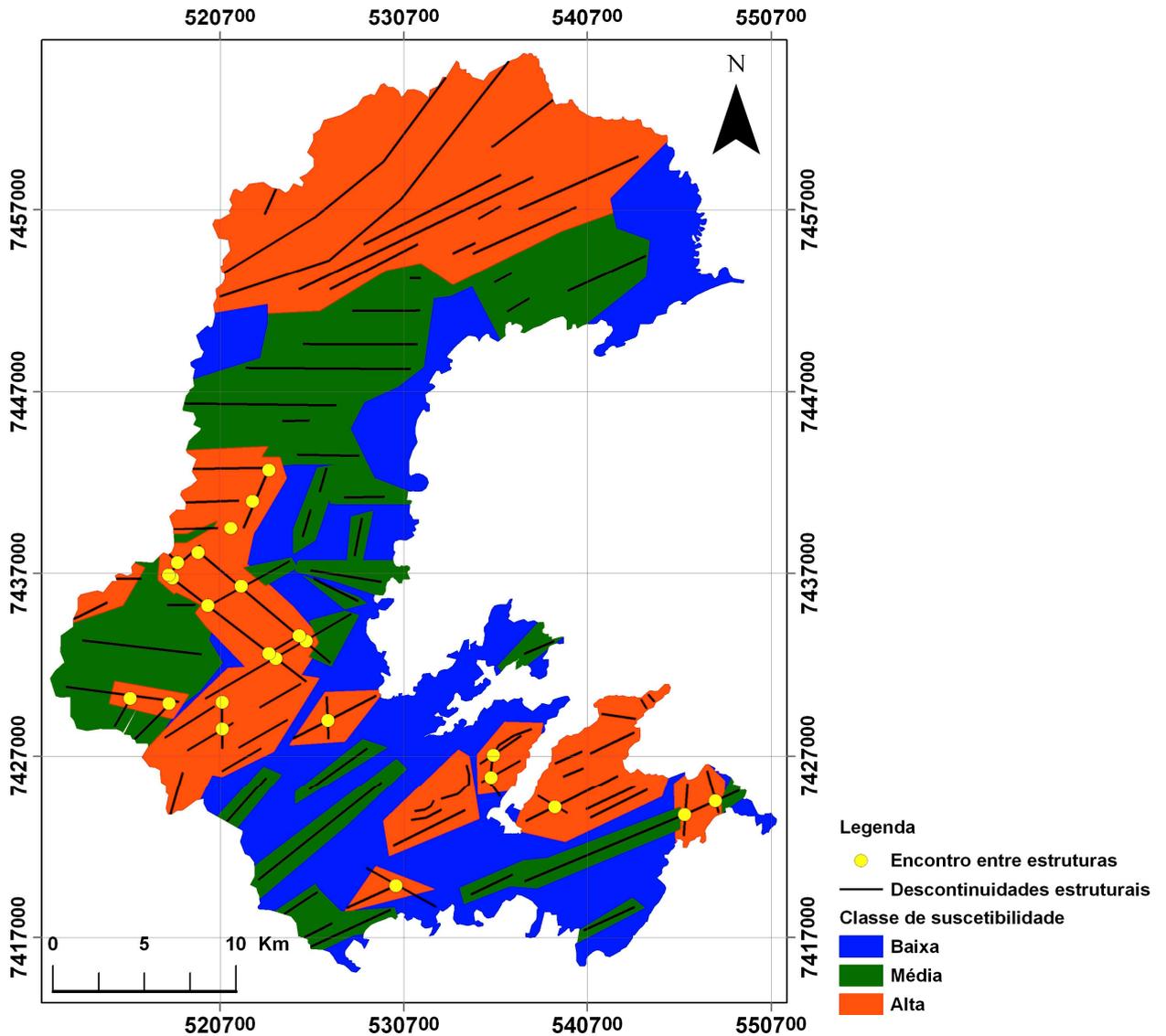


Figura 24 – Carta de descontinuidades estruturais do município de Paraty.

6.4 - CARTAS DE DECLIVIDADE

Foram geradas as cartas de declividade e curvatura de encostas a partir dos MDE/SRTM 30 (resolução espacial re-amostrada de 90 para 30 metros), MDEs ASTER 30 e 15 metros (gerados no programa ASTER DTM com resolução espacial de 30 metros e com a resolução espacial original das bandas 3N e 3B de 15 metros).

6.4.1 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS CARTAS DE DECLIVIDADE

As cartas de declividade geradas a partir dos MDEs SRTM 30, ASTER 30 e ASTER 15 dividem-se de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Características das cartas de declividade obtidas através dos MDEs utilizados.

Classes de declividade/MDEs utilizados	SRTM 30 (Km ²)	ASTER 30 (Km ²)	ASTER 15 (Km ²)
0° e 20°	588,62	527,29	529,95
20° e 30°	268,93	218,93	178,27
acima de 30°	64,46	175,78	213,78

Em uma comparação entre os MDEs utilizados observa-se que em todos há uma predominância das áreas de baixa declividade entre 0° e 20°, com semelhança entre os valores encontrados. Os valores gerados pelos MDEs SRTM 30 e ASTER 30 indicam que as áreas de baixa declividade e suscetibilidade a escorregamentos (0° a 20°) predominam no município, seguidas das áreas de média (20° a 30°) e altas declividade (> 30°) e suscetibilidade a escorregamentos, respectivamente. Mas quando se analisa os dados gerados pelo MDE ASTER 15, as áreas de alta declividade e suscetibilidade predominam sobre as áreas de média declividade e suscetibilidade.

O padrão encontrado é compreensível: a resolução real do MDE SRTM é de 90 metros no terreno, o que implica em aplainar as declividades mais altas. Com os dados ASTER reamostrados para 30 metros há a geração de valores médios entre pixels vizinhos de 15 metros. A comparação dos resultados na classe acima de 30° é notável. A área indicada pelo MDE/ASTER 30 é 2,7 vezes maior que a indicada pelo MDE SRTM 30 e a do MDE/ASTER 15 é 3,3 vezes maior.

6.5 - CARTAS DE CURVATURA DE ENCOSTAS

As cartas de curvatura de encostas foram divididas em encostas côncavas, convexas e retilíneas.

6.5.1 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS CARTAS DE CURVATURA

Os dados e cartas de curvaturas geradas pelos três MDEs utilizados nesse estudo apresentaram-se muito divergentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Características das cartas de curvatura de encostas obtidas através dos MDEs utilizados.

Classes de curvatura/ MDEs utilizados	SRTM 30 (Km ²)	ASTER 30 (Km ²)	ASTER 15 (Km ²)
Retilínea	268,85	484,19	239,86
Convexas	64,57	219,47	339,96
Côncavas	588,58	218,34	342,19

O MDE/SRTM 30 mostrou dominância de vertentes côncavas consideradas de alta suscetibilidade a escorregamentos, seguidas pela classe das vertentes retilíneas, consideradas de baixa suscetibilidade e finalmente pela das vertentes convexas, consideradas de média suscetibilidade a escorregamentos. O MDE/ASTER 30 mostrou dominância de vertentes retilíneas, seguidas das vertentes convexas e côncavas que apresentaram áreas semelhantes. E finalmente o MDE/ASTER 15 mostrou uma dominância de vertentes côncavas e convexas com áreas semelhantes seguidas das vertentes retilíneas, menos representativas no município.

Os resultados obtidos com os dados do sensor ASTER, com valores muito diferentes para as classes de curvatura, podem ser explicados, pois com a re-amostragem há naturalmente diminuição das curvaturas e tendência de aumentar a porcentagem das vertentes retilíneas. Já os resultados do sensor SRTM são de difícil explicação.

6.6 - COMPARAÇÃO DAS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE

As classes de suscetibilidade a escorregamentos apresentaram grandes variações em função do MDE utilizado, uma vez que a declividade foi considerada o parâmetro mais importante. Comparando-se as porcentagens das classes de suscetibilidade, considerando o uso e cobertura do solo em 2008 e os três MDEs citados, encontra-se uma variação intensa. Fica evidente que o uso de dados de pior resolução espacial diminui artificialmente a classe de alta suscetibilidade a escorregamentos (Tabela 8).

Tabela 8 – Porcentagem das áreas relativas a cada classe de suscetibilidade a escorregamentos para o ano de 2008, considerando os diferentes MDEs utilizados.

Classe de suscetibilidade a escorregamentos	área total SRTM 30 (%)	área total ASTER 30(%)	área total ASTER 15 (%)
Baixa suscetibilidade	26	44	34
Média suscetibilidade	71	46	53
Alta suscetibilidade	3	10	13

Nas cartas baseadas nos dados do MDE/SRTM 30 há uma grande dominância das áreas de média suscetibilidade, seguidas da classe de baixa suscetibilidade e com pouca representatividade das áreas com alta suscetibilidade. Já os dados do MDE/ASTER 30 mostram semelhantes áreas ocupadas pelas classes de baixa e média suscetibilidade com a de alta suscetibilidade apresentando área muito inferior às demais. O produto de maior confiabilidade, gerado com os dados do MDE ASTER/15, mostra uma discreta dominância da classe de média suscetibilidade, seguida de perto pela classe de baixa suscetibilidade em termos de área ocupada e, por fim uma expressiva área da classe de alta suscetibilidade.

É de se prever tal resultado, pois as declividades mais elevadas tendem a se aplainar com o aumento do pixel no terreno. Assim para o dado SRTM, de origem com 90 metros no terreno, apenas 3% da área é enquadrada como de alta suscetibilidade. Já com dados ASTER de 15 metros de resolução, 13% da área do município estão nessa classe. Fazendo uma amostragem deste dado para 30 metros, a área cai para 10%, demonstrando que além das eventuais variações por conta de diferentes métodos de aquisição de dados, a questão da

resolução espacial se impõe. Considerando que este dado é ainda muito aquém do ideal, pode-se avaliar que a porcentagem do município sujeito a escorregamentos é ainda maior.

A intensidade das variações encontradas nas classes de suscetibilidade em função dos diferentes MDEs não se reflete em sua evolução temporal (Figuras 25, 26 e 27). Observe-se que as tendências lineares são as mesmas, com pequenas variações angulares e apenas os ajustes das linhas de tendência são em geral melhores para os dados ASTER. Ou seja, as variações são importantes nas áreas de cada classe e não em sua evolução, que apresenta natural queda na classe de baixa suscetibilidade e aumento nas outras classes, refletindo a retirada das florestas. É notável a evolução da classe de alta suscetibilidade, que se ajusta perfeitamente a uma curva de tendência linear para os dados ASTER.

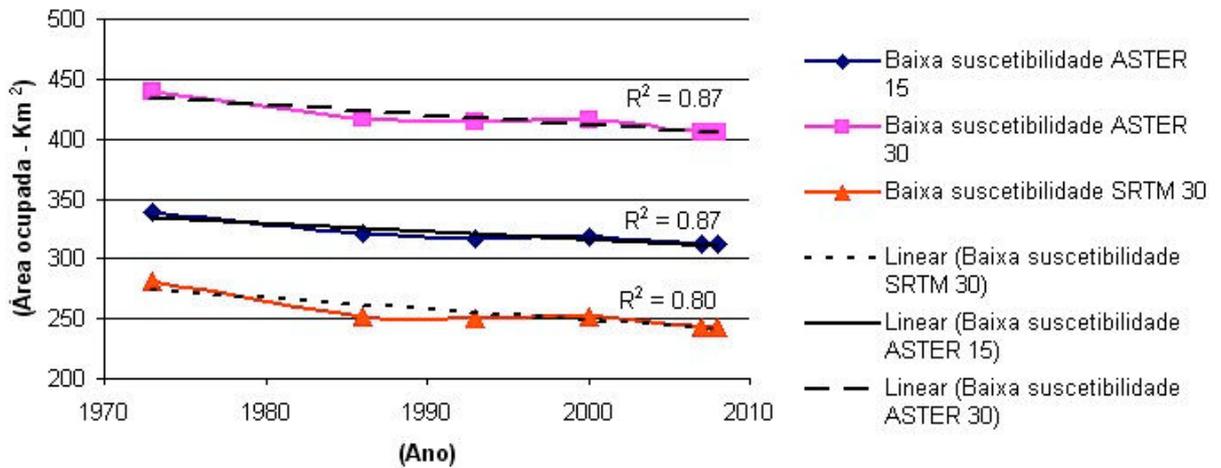


Figura 25 – Variação das áreas de baixa suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados

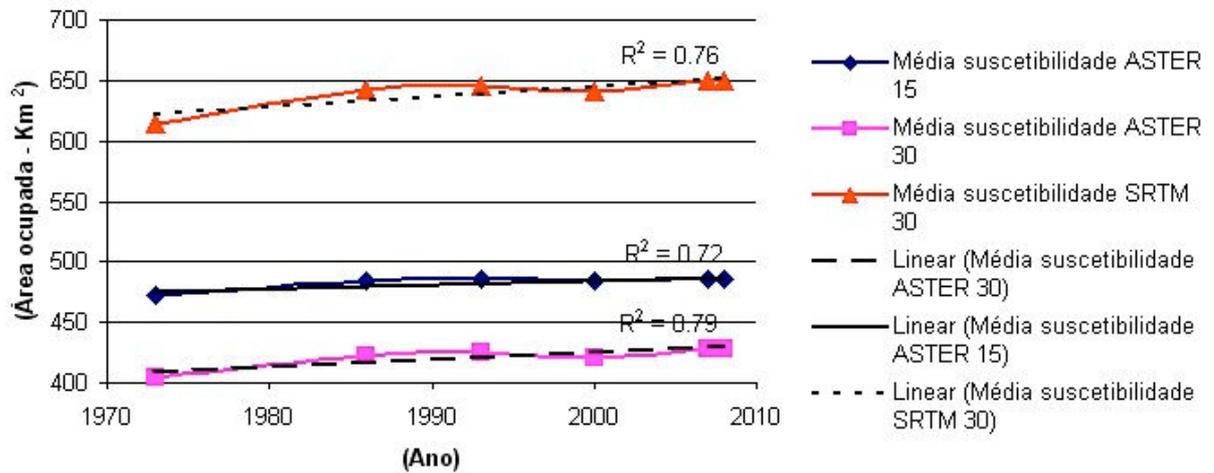


Figura 26 – Variação das áreas de média suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados

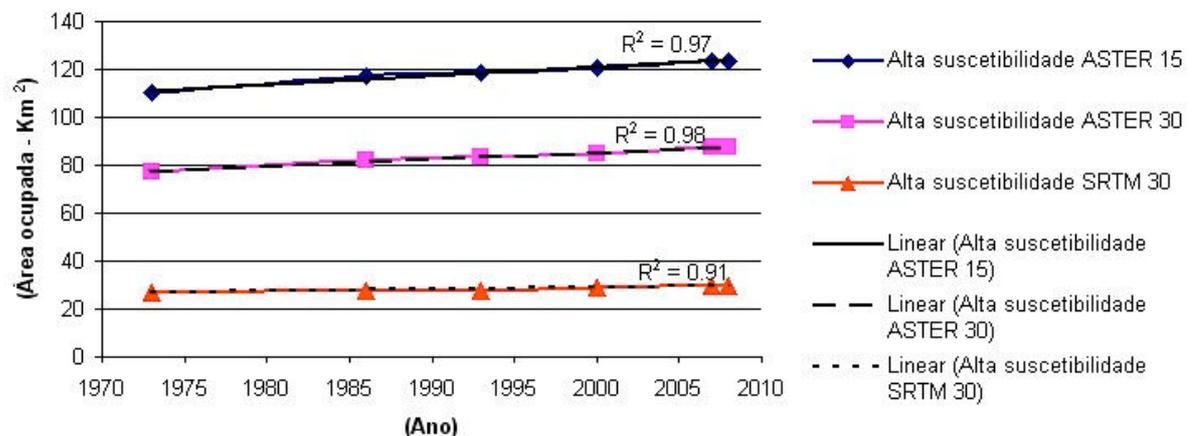


Figura 27 – Variação das áreas de alta suscetibilidade de acordo com os MDEs utilizados

Com respeito à evolução temporal das cartas geradas com os três MDEs utilizados (Figuras 28, 29 e 30), há uma natural influência da intensidade e velocidade do processo de desmatamento com a classe de baixa suscetibilidade diminuindo de área nos períodos de desmatamento e aumentando (ou se estabilizando) quando há recuperação ou estabilidade das áreas florestadas. Já para as classes de média e alta suscetibilidade o quadro é inverso. Assim a classe de baixa suscetibilidade mostra uma diminuição de sua área de 1973 até 1993, de 1993 até 2000 há discreto aumento de área (associado ao pequeno reflorestamento ocorrido) e volta a diminuir no período entre 2000 e 2007, com pequenos aumentos ou diminuições de áreas em função do MDE utilizado para o período 2007-2008.

A classe de média suscetibilidade a escorregamentos nas cartas geradas pelos três MDEs utilizados apresenta um crescimento entre 1973 e 1993, decresce em área no ano de 2000 e volta a se expandir para valores acima dos encontrados em 1993 nas duas imagens mais recentes. Novamente no período entre 2007 e 2008 há comportamentos diversificados: com a utilização do MDE/SRTM 30 há um pequeno aumento na área ocupada por essa classe (0,002%), com o MDE/ASTER 30 e 15 a área apresenta uma diminuição de respectivamente 0,056% e 0,004%.

A classe de alta suscetibilidade apresenta uma contínua expansão no período estudado, considerando as cartas geradas pelos MDE/ASTER 30 e MDE/ASTER 15. Quando consideradas as cartas advindas da utilização do MDE/SRTM 30, sua evolução temporal mostra uma quebra nesse padrão. Entre 1973 e 1986 há um aumento de 3,1% na área ocupada pela classe de alta suscetibilidade, mas entre 1986 e 1993 ocorre uma redução de 0,4%, voltando a crescer até 2007 continuando com a mesma área em 2008.

As cartas de suscetibilidade a escorregamentos, geradas através do cruzamento dos diversos planos de informação com o MDE ASTER 15 foram consideradas as mais precisas para o município de Paraty. A distribuição das classes em cada ano abordado e segundo os MDE utilizados está na Tabela 9.

Tabela 9 – Evolução da distribuição das classes de suscetibilidade a escorregamentos do Município de Paraty para os anos estudados utilizando o MDE ASTER 15.

Classe de suscetibilidade a escorregamentos \ ano	1973	1986	1993	2000	2007	2008
Baixa suscetibilidade	37%	35%	34%	34%	34%	34%
Média suscetibilidade	51%	52%	53%	52%	53%	53%
Alta suscetibilidade	12%	13%	13%	13%	13%	13%

As Figuras 31, 32 e 33 detalham as curvas de variação das áreas de baixa, média e alta suscetibilidade com a utilização do MDE ASTER 15, permitindo melhor visualização das variações acima citadas. No município de Paraty há ao longo do intervalo de tempo estudado um claro aumento das áreas de média e alta suscetibilidade em contrapartida ao decréscimo das áreas de baixa suscetibilidade, evidentemente em função do aumento da ocupação humana, já que os demais parâmetros foram estáveis. Isto demonstra a gravidade da contínua expansão da ocupação do solo no município e conseqüente desmatamento de áreas vegetadas, mesmo em locais de alta declividade, tornando o município menos estável do ponto de vista geotécnico. A carta de suscetibilidade apresentada utiliza assim o MDE ASTER 15 e a carta de uso e cobertura do solo no ano de 2008 (Anexo 2).

A ocupação futura não pode ser estimada, mas houve contínua redução da vegetação e expansão da ocupação humana nas últimas décadas e os vetores desta ocupação não seguem o que seria razoável, com importante crescimento da ocupação ou ao menos desmatamento de áreas impróprias pela declividade do terreno ou por se localizarem em áreas protegidas. Cabe

ressaltar que existem amplas áreas consideradas de alta suscetibilidade e atualmente desocupadas, áreas que em particular devem ser preservadas.

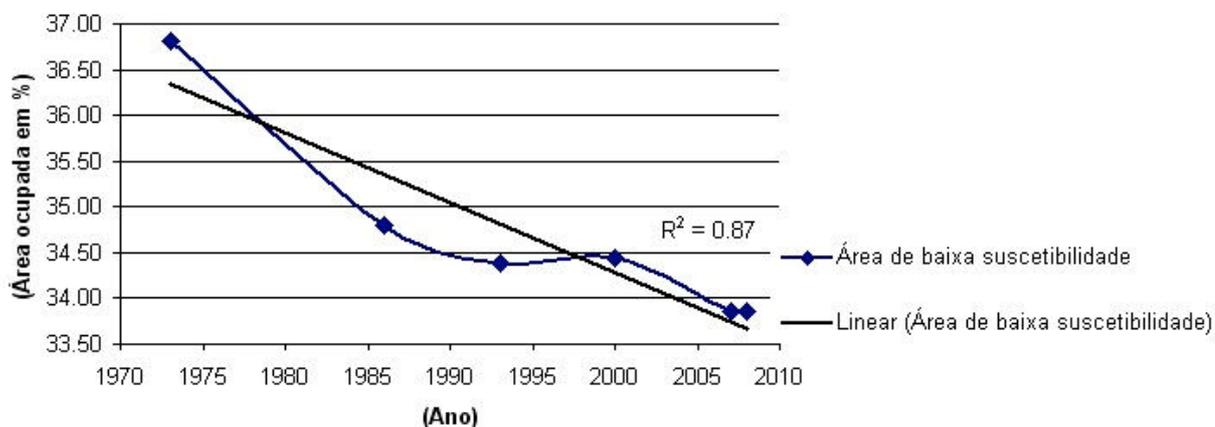


Figura 31 – Evolução das áreas de baixa suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.

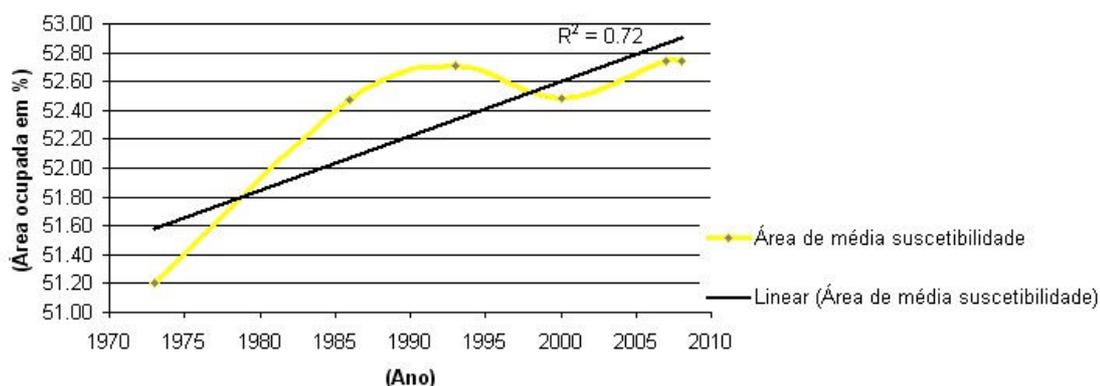


Figura 32 - Evolução das áreas de média suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.

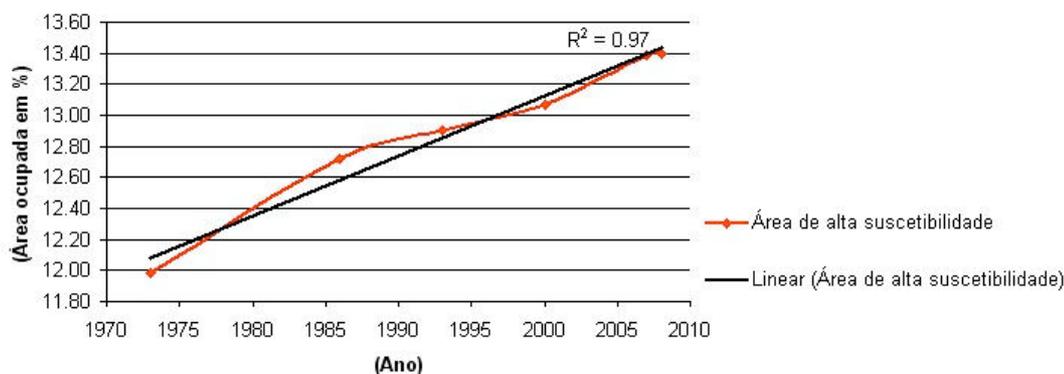


Figura 33 - Evolução das áreas de alta suscetibilidade no município de Paraty ao longo do período estudado utilizando MDE ASTER 15.

6.7 - EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NAS DIVERSAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE

Dentro das áreas de baixa suscetibilidade, desde 1973 há franco declínio da área ocupada por vegetação densa. Considerando todo o período estudado, houve uma perda de 32,9% da cobertura vegetal ou cerca de 0,9% ao ano, em média. A maior perda se deu no período entre 2007 e 2008 onde em um ano perdeu-se 8,4% da cobertura vegetal densa nos terrenos dessa classe de suscetibilidade, seguido do período entre 1973 e 1986 onde houve uma perda anual de 1,6% (Figura 34).

Assim como na questão da perda das áreas vegetadas, a ocupação humana se deu mais agressivamente nas áreas de baixa suscetibilidade entre os anos de 2007 e 2008 (crescendo 19,2% nesse período, o maior crescimento da história recente de Paraty). Entretanto, esse último resultado pode estar superestimado em função da diferença de resolução espacial entre as imagens e o sensor utilizado. O segundo maior crescimento anual se deu entre 1973 e 1986, cerca de 8,5% ao ano, o que era esperado uma vez que se refere ao início do período de *boom* turístico e abertura da BR-101. Considerando a média de crescimento, desde 1973 a ocupação humana dentro das áreas de baixa suscetibilidade vem crescendo cerca de 5,2% anualmente (Figura 34).

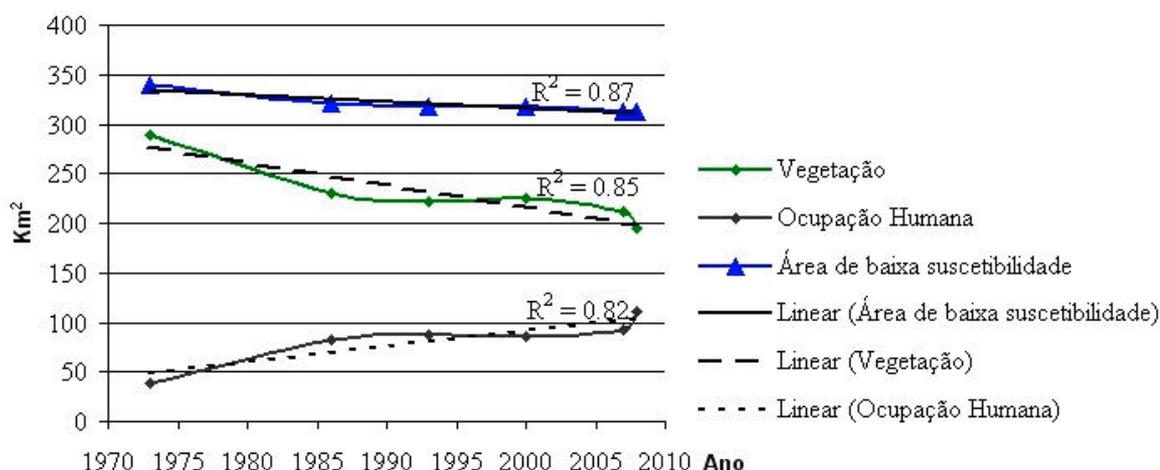


Figura 34 - Evolução das áreas de baixa suscetibilidade, da sua perda de áreas vegetadas e da expansão da ocupação humana.

A Figura 35 mostra a sede do município, limitada em primeiro plano pelo rio Mateus Nunes. Junto ao mar é área de mangue, mas atrás há ampla área plana, sem riscos de escorregamentos e, portanto, apta a atender o crescimento da cidade. Como esta há muitas áreas passíveis de ocupação.



Figura 35 – Ocupação atual da sede do município em área de baixa suscetibilidade e, em primeiro plano, ampla área vizinha e passível de ocupação sem risco de escorregamentos.

A área ocupada pela estrada BR-101, 1,2% na imagem de 1973, foi exagerada por conta de acessos secundários provisórios e da inevitável movimentação de solo e rochas na época de sua construção. Há ainda o provável exagero originado da questão dos *pixels* das imagens MSS terem maiores dimensões, podendo levar pixels mistos (parte vegetação e parte solo/rocha completamente exposto, por ter sofrido recente movimentação) a terem uma resposta espectral semelhante a “solo exposto”, em condições normais (com alguma vegetação nos solos e líquens em afloramentos rochosos). Após 1986 a área ocupada pela

estrada se estabilizou em 0,4% até 2008, pois não houve alterações de monta na rodovia BR-101. Um fator positivo, em termos de vegetação aparece após 2000 com o surgimento, em 2007, de uma área de recuperação de vegetação densa na classe de baixa suscetibilidade, com 0,01% da área total.

Houve uma queda contínua da área vegetada nas áreas de média suscetibilidade, o que é preocupante, pois significa que a área vegetada está diminuindo em uma classe de suscetibilidade que vem crescendo em área por *herdar* áreas rebaixadas da classe de baixa suscetibilidade por conta do desmatamento, mostrando que a queda na cobertura vegetal é proporcionalmente maior. A maior queda anual da área vegetada, na classe de média suscetibilidade, se dá entre os anos de 1973 e 1986, quando a vegetação perdeu anualmente 0,9% em área, seguida do período entre 2000 e 2007 com uma perda anual de 0,8%. De 1973 a 2008 a média de perda anual de vegetação densa nessa classe de suscetibilidade é de 0,5% ao ano (Figura 36).

Como contrapartida natural houve um aumento da ocupação humana. O maior avanço ocorreu no período de 1973 e 1986, quando cresceu 96,1%, no maior crescimento anual do período estudado (7,4% ao ano), reflexo do “boom” turístico na região com a abertura da BR-101. O crescimento anual médio para todo o período (35 anos) foi de 4,2% (Figura 36).

A queda contínua de área vegetada, o crescimento da ocupação humana nos terrenos dessa classe de suscetibilidade, a adoção de práticas que alterem a morfologia dos terrenos e a execução de corte e aterro para construção de acessos e moradias, podem vir a ocasionar um aumento da suscetibilidade a escorregamentos desses terrenos. A área relativa à estrada ocupava uma área de 0,6% em 1973, nesta classe de suscetibilidade, atingindo 0,2% em 1986 e mantendo com esse percentual até 2008, tendo uma queda de 64,6% de sua área entre 1973, época de sua construção e 1986, essa perda é relacionada à recuperação da vegetação no

entorno da via. A contínua diminuição das áreas de floresta nas áreas da classe de média suscetibilidade implica na transformação de áreas de média para alta suscetibilidade

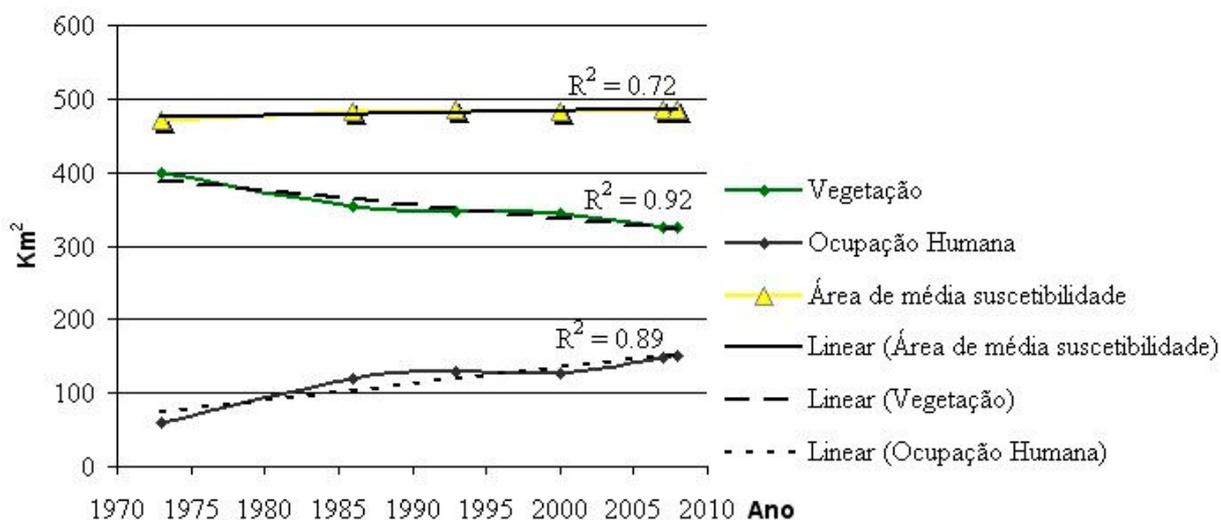


Figura 36 - Evolução das áreas de média suscetibilidade e da sua perda de áreas vegetadas e expansão da ocupação humana

Na classe de alta suscetibilidade a vegetação também vem perdendo terreno. A situação nas áreas de alta suscetibilidade se mostra particularmente preocupante, pois há o aumento contínuo de seu desmatamento, com exceção do período entre 2007 e 2008. A maior perda do período ocorre entre 2000 e 2007 (>0,6% ao ano) seguido do período entre 1973 e 1986 com uma perda anual de 0,6%. Desde 1973, esta classe vem perdendo em média 0,4% ao ano de sua área florestada. Como nas demais classes houve a recuperação da vegetação em uma área de 0,1% após 2000 (Figura 37).

A ocupação humana nas áreas de alta suscetibilidade, ainda que escassa, cresceu ao longo do período estudado (Figura 37). O maior aumento em ocupação humana nessa classe de suscetibilidade se deu entre 1973 e 1986, com um crescimento total de 93,6% ou 7,2% ao ano. O segundo maior crescimento se deu entre 2000 e 2007 (2,6% ao ano). Entre 1973 e 2008 a ocupação humana nas áreas de alta suscetibilidade aumentou em 168,5%, ou 4,8% ao ano.

Os terrenos dentro dessa classe de suscetibilidade de modo algum deveriam ser ocupados e desmatados, pois grande parte da área é naturalmente suscetível a escorregamentos independente de qualquer ocupação humana, possuindo características que tornam particularmente preocupante o desmatamento observado. Decorrente do desmatamento virá ocupação humana real e com ela o risco geológico para a população assentada, inclusive no entorno das áreas desta classe de suscetibilidade.

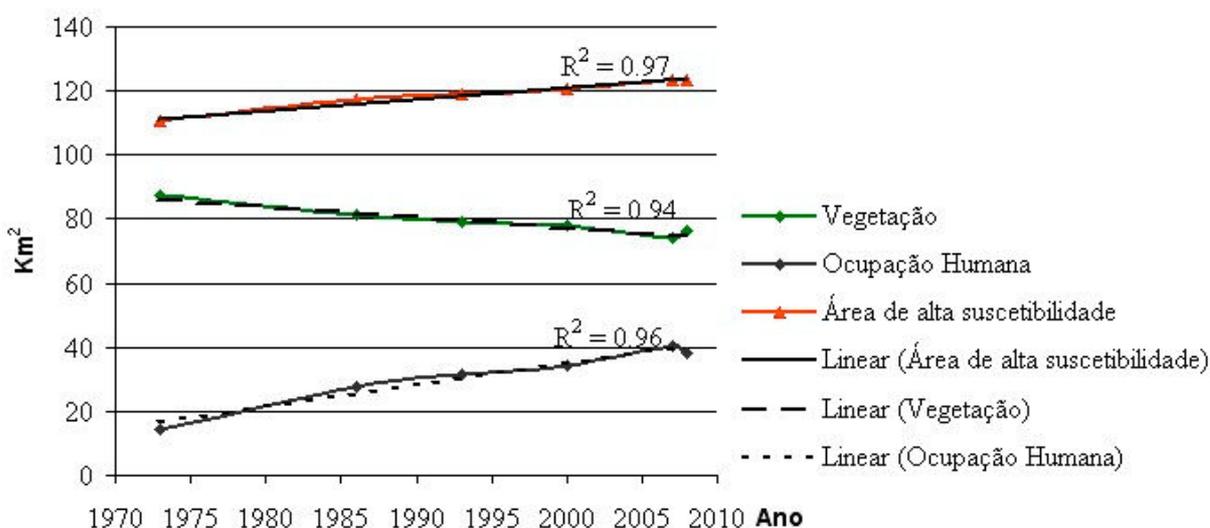
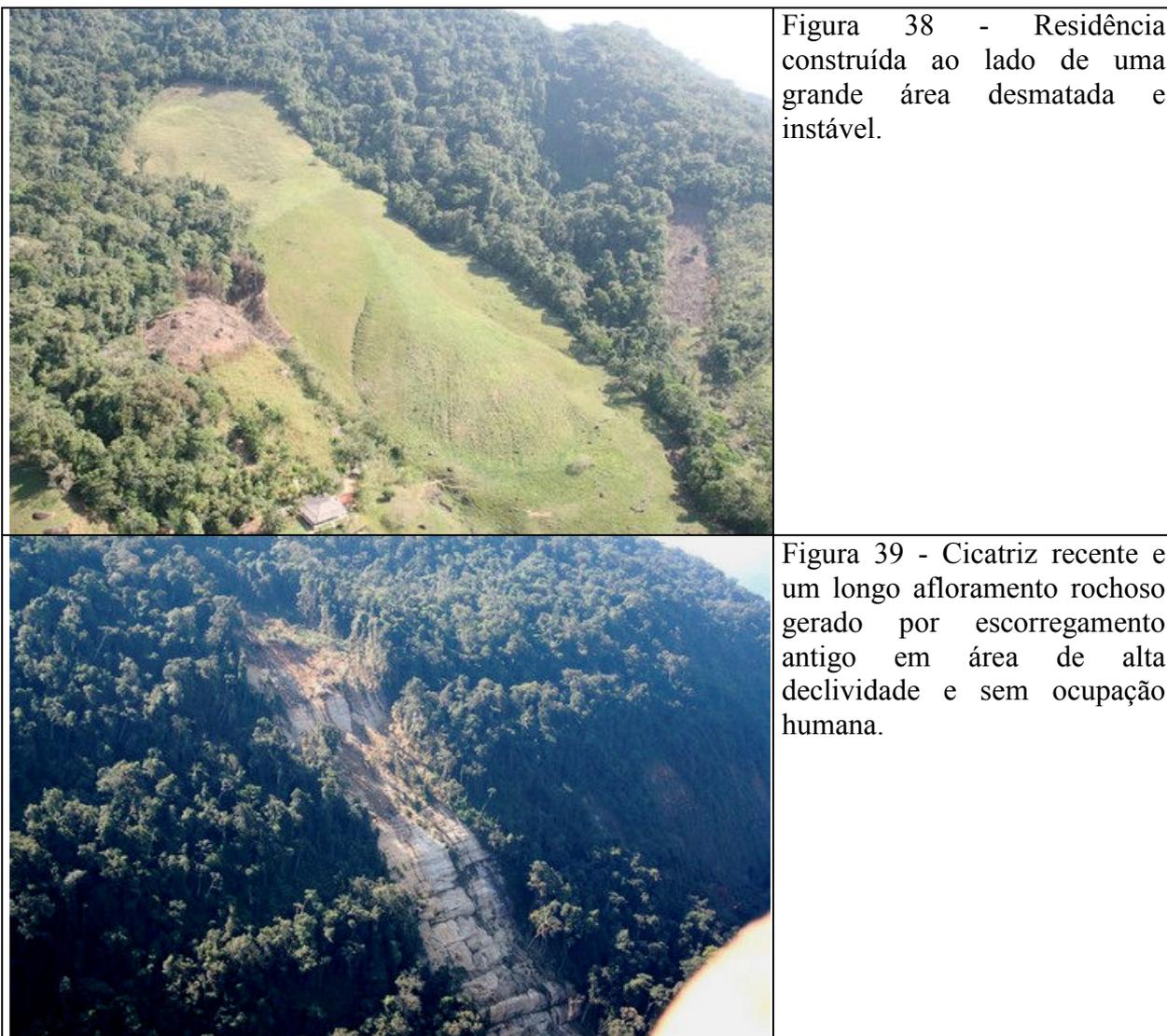


Figura 37 - Evolução das áreas de alta suscetibilidade e da sua perda de áreas vegetadas e expansão da ocupação humana.

Na Figura 38 observa-se uma residência construída ao lado de uma grande área desmatada e notadamente instável, onde aparentemente houve a ocorrência de creep. Já na Figura 39 há uma cicatriz recente e um longo afloramento rochoso gerado por escorregamento mais antigo em área de alta declividade, mas sem qualquer ocupação humana, representando assim apenas um evento importante na evolução do relevo.



A estrada, em sua fase de construção (1973), ocupava 0,5% da área desta classe de suscetibilidade, passando a 0,2% na imagem do ano de 1986 e mantendo-se até 2008 inalterada. Apresentou uma queda de 51% de sua área entre 1973 e 1986 graças à recuperação da vegetação.

6.8 - ANÁLISES DOS DADOS COLETADOS PELA DEFESA CIVIL DE PARATY

Como já apresentado no capítulo anterior, para que haja uma associação correta entre chuva e escorregamentos são necessários não apenas dados pluviométricos confiáveis como também uma longa série histórica. Brand et al. (1984) propõem ser necessária uma série de cerca de 30 anos para se estabelecer o comportamento padrão climatológico de uma região (SOARES, 2006).

Há atualmente no município de Paraty uma rede de coleta dos índices de pluviosidade, coordenada pela Defesa Civil de Paraty e monitorada por moradores voluntários das diversas localidades. A rede de coleta conta com 15 pontos de coleta de dados tendo sido implantada recentemente, possuindo dados insuficientes para uma análise cientificamente aceitável. Além disso, há diversas falhas de coleta, gerando, pela inexistência de dados, áreas extensas sem informação em vários meses. Apesar destes problemas os dados foram tratados, mais como uma demonstração do uso potencial da informação pluviométrica que como elemento definidor de suscetibilidade a escorregamentos. Feita esta ressalva, acrescenta-se que através de interpolação bi-linear obteve-se valores intermediários para preencher os dados não coletados, os quais na Tabela 10 aparecem em negrito.

Considerando apenas os dados coletados, a pluviosidade média do Município entre Outubro de 2007 e Julho de 2008 foi de 1726,05 mm. As médias mensais para os diferentes pontos de coleta variam de 2,62 mm a 438,35 mm. Quando introduzidos os dados interpolados a pluviosidade média para o período Outubro de 2007 a Julho de 2008 passa a 2175,96 mm e a média mensal para os diferentes pontos coletados passa a variar de 7,76 mm a 426,41 mm. Levando em conta apenas os dados coletados, o total anual variou de 548,00 mm na Ilha do Araújo onde houve uma lacuna de cinco meses de dados a 2687,50 mm em São Gonçalo que apresentou apenas 1 (hum) mês sem coleta de dados. Incluindo os dados

interpolados a pluviosidade variou de 1700,00 mm em São Roque a 3046,32 mm em São Gonçalo.

Comparando os dados coletados com o plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (BRASIL, 2000), que cita que a média de precipitação anual em Paraty é de 1319 mm, observa-se que as localidades onde a precipitação anual se encontra abaixo desse valor são as em que não houve coleta por diversas vezes, como é o caso de Paraty Mirim, Laranjeiras, Ilha do Araújo e Graúna.

Considerando estas *não coletas* a pluviosidade média para o período no município foi de 1726,05 mm. Considerando que nos dados da Defesa Civil não houve coletas nos meses de agosto e setembro, a diferença com os dados de Brasil (2000) fica ainda mais expressiva. Quando se considera os dados interpolados, em nenhuma localidade há precipitação, no período considerado, abaixo de 1319 mm e a média para o município passa a 2175,96 mm. Outro fator que indica que a pluviosidade anual estipulada pelo Plano de Manejo está subestimada é o caso da localidade de Chapéu do Sol, que mesmo com a falta de coleta em 4 meses apresenta um total de 2055,00 mm de pluviosidade entre outubro de 2007 e Julho de 2008.

Fica assim claro não apenas serem os dados do Plano de Manejo subestimados como também a presença de grande variação de pluviosidade entre as diferentes regiões do município. A inexistência de pontos de coleta de dados na região da Ponta da Juatinga ocasionou a sua não inclusão nos mapas, pois subestimava a pluviosidade local.

Tabela 10 – Dados de pluviosidade coletados pela Defesa Civil de Paraty, os períodos sem coleta de dados foram substituídos por dados interpolados (em negrito).

Localidade	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	Total dos dados coletados	Dados inexistentes	Total com os dados interpolados
Sertão Taquari	168,50	322,00	193,00	351,00	129,86	370,00	278,24	95,51	95,90	15,00	1923,11	01	2019,01
São Gonçalo	153,00	425,00	289,00	358,82	208,00	1009,00	336,00	121,00	146,50	0,00	2687,50	01	3046,32
São Roque	224,00	171,00	225,00	368,00	155,00	252,00	220,00	55,00	30,00	0,00	1700,00	00	1700,00
Patrimônio	220,00	275,50	290,00	230,00	435,00	308,14	175,00	130,00	42,69	0,00	1755,50	02	2106,33
Parati Mirim	210,00	237,00	134,00	227,00	335,00	389,38	527,27	91,26	0,00	16,55	1143,00	05	2167,46
Praia Grande	219,00	319,00	216,00	311,00	335,00	534,00	271,00	26,00	47,00	4,00	2282,00	00	2282,00
Ponte branca	238,16	235,91	123,00	303,00	294,00	392,00	187,00	29,00	56,00	0,00	1384,00	02	1858,07
Laranjeiras	59,00	348,00	123,00	307,00	121,00	108,00	537,51	164,49	11,24	65,81	1066,00	04	1845,05
Jabaquabra	218,00	216,00	249,00	258,00	296,00	380,00	484,00	28,50	129,00	0,00	2258,50	00	2258,50
Ilha do Araújo	217,58	292,22	231,45	287,77	337,82	327,00	161,00	50,00	10,00	0,00	548,00	05	1914,84
Graúna	221,97	264,35	212,20	326,67	336,00	637,00	199,00	5,00	58,00	0,00	1235,00	04	2260,19
Chapéu do Sol	252,67	401,00	314,00	576,00	310,00	530,00	315,00	103,70	1,97	10,00	2055,00	04	2814,34
Campinho	298,00	412,50	337,50	184,00	261,00	335,00	136,00	95,00	17,50	0,00	2076,50	00	2076,50
Coriscão	231,24	246,50	193,50	350,50	278,50	493,60	229,00	48,00	80,00	0,00	1919,60	01	2150,84
Tarituba	296,00	65,00	282,91	356,50	426,00	331,00	255,00	71,00	51,50	5,00	1857,00	01	2139,91
Média considerando os dados coletados	206,55	276,14	223,92	318,50	280,03	438,35	249,71	62,83	62,55	2,62	1726,05		
Média considerando os dados interpolados	215,14	282,07	227,57	319,68	283,88	426,41	287,40	74,23	51,82	7,76			2175,96

Considerando ser o período de verão o de maior pluviosidade e mais sujeito a escorregamentos, selecionou-se a pluviosidade entre 21 de dezembro de 2007 a 20 de Março de 2008, quando varia de 542,00 mm (Laranjeiras) a 1230,87 mm (Graúna). No período do verão considerou-se tanto os dados efetivamente coletados como os dados interpolados, chegando a uma média de 919,83 mm para o município (Tabela 11).

Tabela 11 – Dados de pluviosidade coletados pela defesa Civil de Paraty do período do verão de 2007/2008.

Localidade	Total dos dados coletados	Observações
Sertão Taquari	649,86	Fevereiro interpolado
São Gonçalo	1036,82	Janeiro interpolado
São Roque	815,00	Dados completos
Patrimônio	973,14	Março interpolado
Parati Mirim	951,38	Março interpolado
Praia Grande	999,00	Dados completos
Ponte branca	819,00	Dados completos
Laranjeiras	542,00	Dados completos
Jabaquabra	818,00	Dados completos
Ilha do Araújo	1049,04	Dezembro, Janeiro e Fevereiro interpolados
Graúna	1230,87	Dezembro e Janeiro interpolados
Chapéu do Sol	1181,00	Dados completos
Campinho	725,00	Dados completos
Coriscão	861,00	Dados completos
Tarituba	1146,41	Dezembro interpolado
média do verão	919,83	

6.8.1 - CARTAS DE PLUVIOSIDADE MENSAIS E DO VERÃO

Com os dados coletados pela Defesa Civil de Paraty foram geradas as cartas de pluviosidade mensais entre Outubro de 2007 e Julho de 2008 (Figuras 40 a 49) e uma carta de pluviosidade da estação do verão de 2007/2008 (Figura 50).

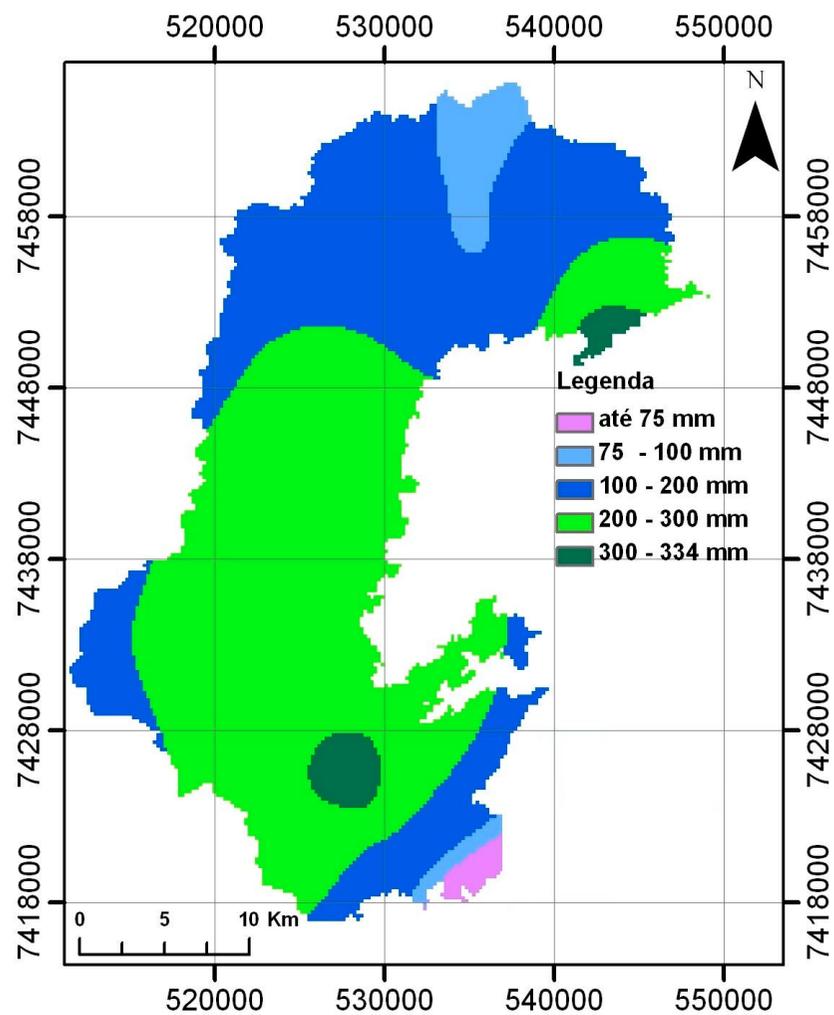


Figura 40 – Carta de pluviosidade do mês de Outubro de 2007.

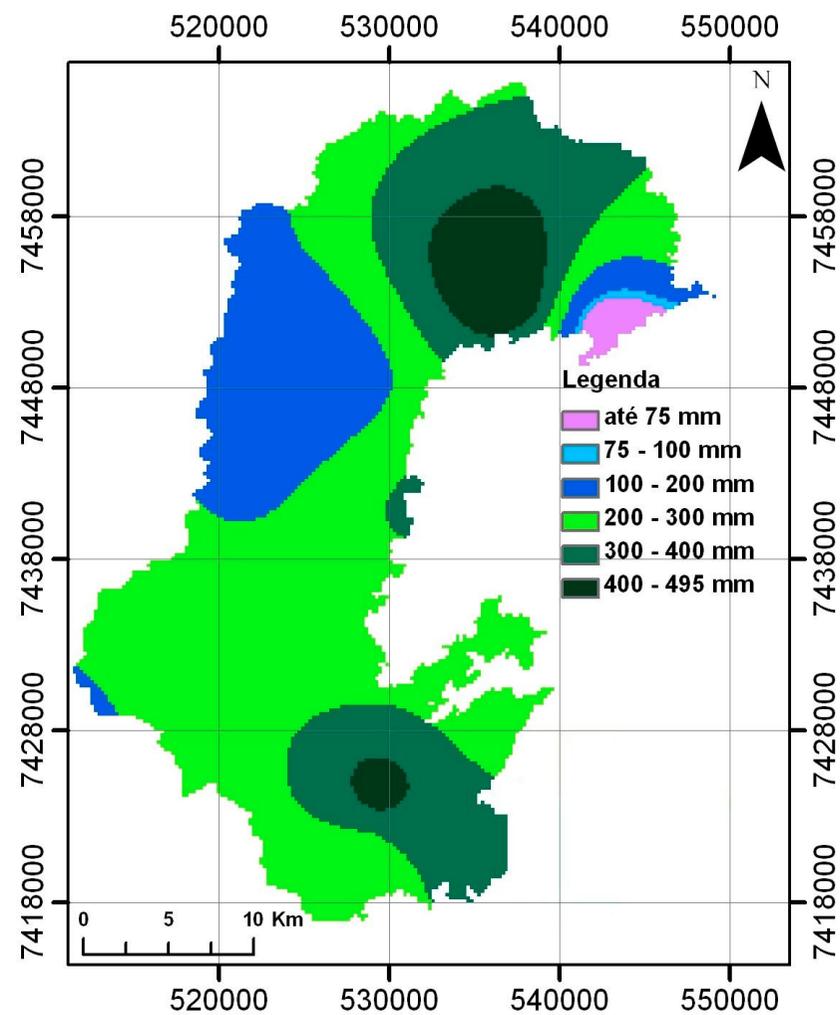


Figura 41 – Carta de pluviosidade do mês de Novembro de 2007.

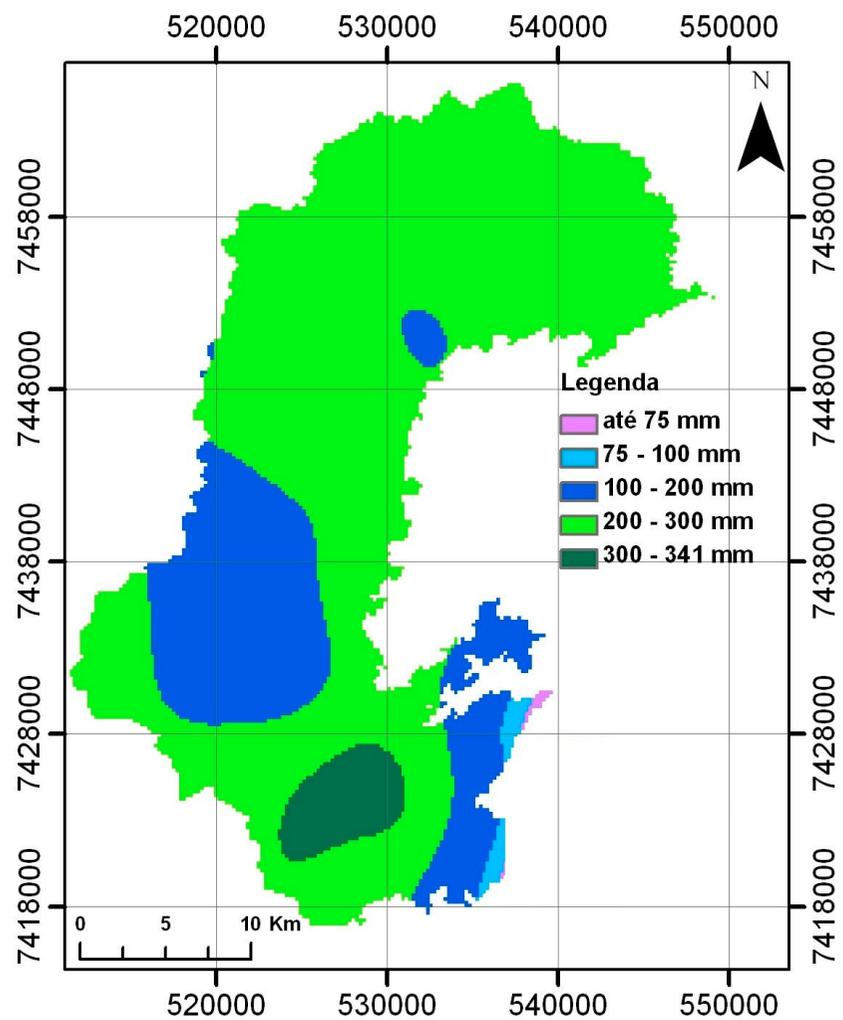


Figura 42 – Carta de pluviosidade do mês de Dezembro de 2007.

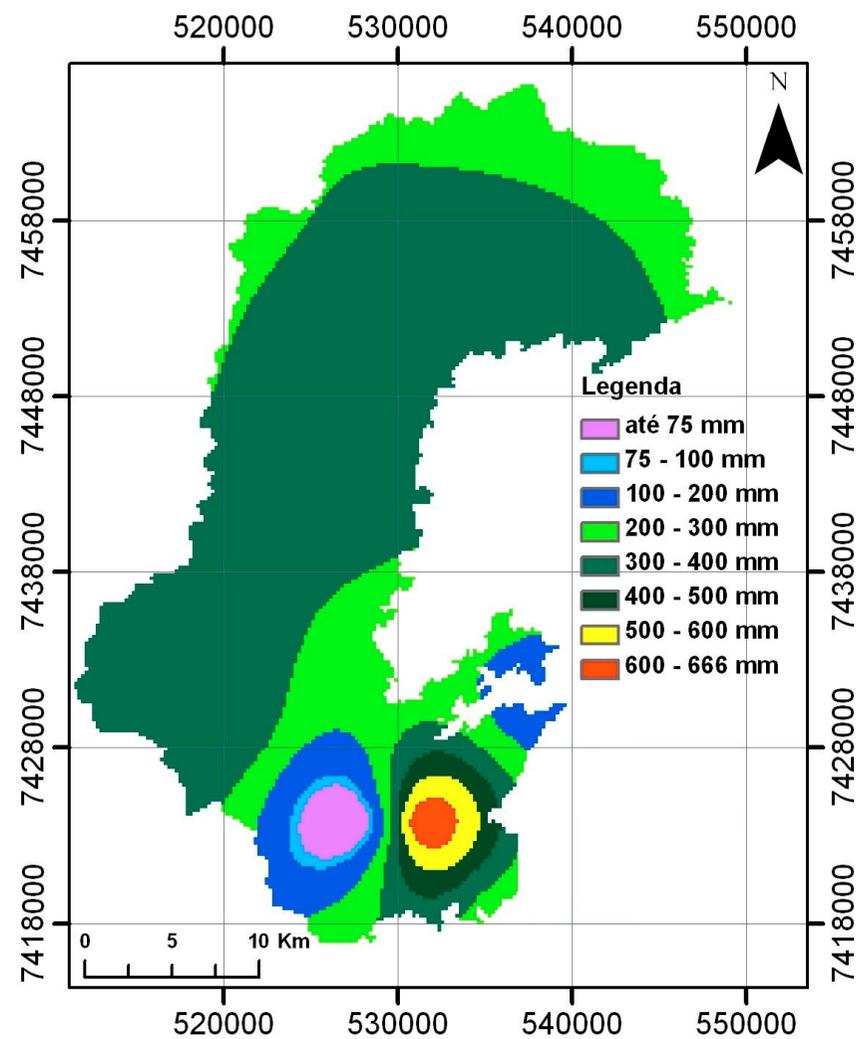


Figura 43 – Carta de pluviosidade do mês de Janeiro de 2008.

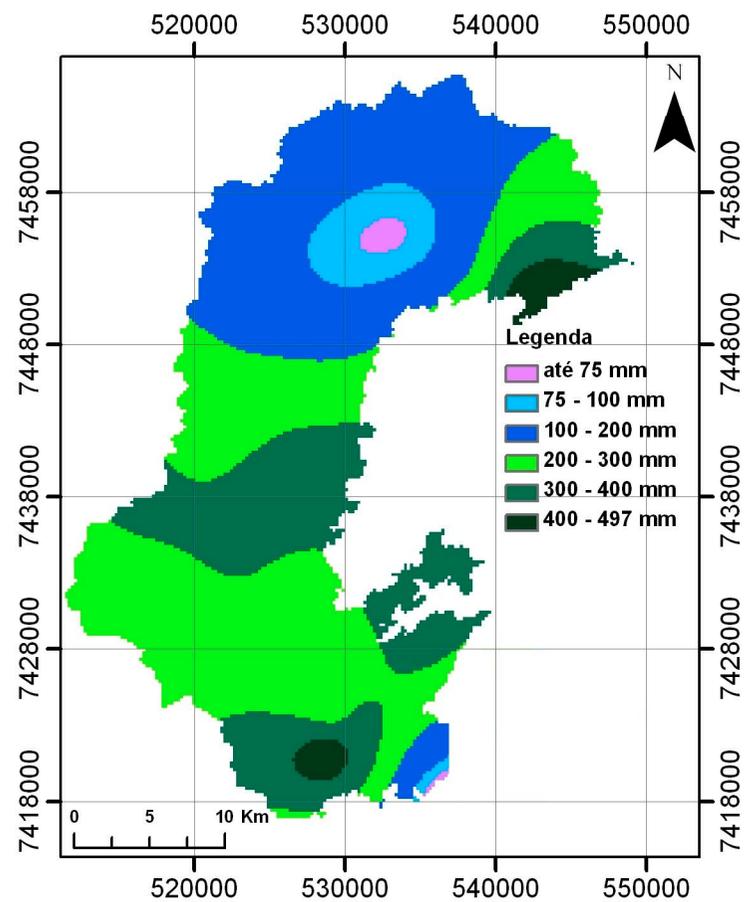


Figura 44 – Carta de pluviosidade do mês de Fevereiro de 2008.

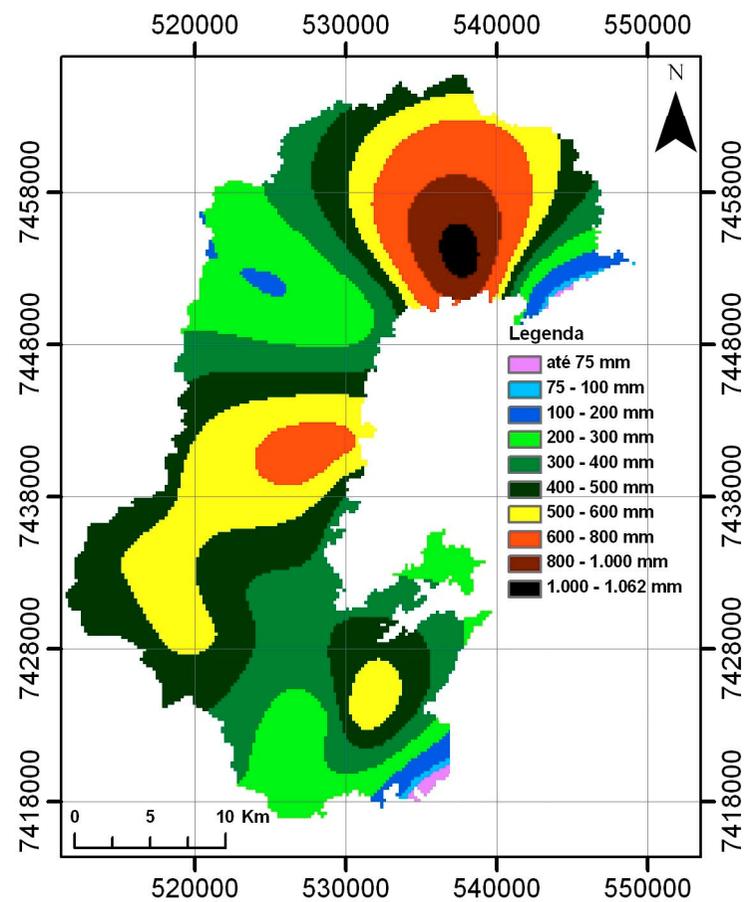


Figura 45 – Carta de pluviosidade do mês de Março de 2008.

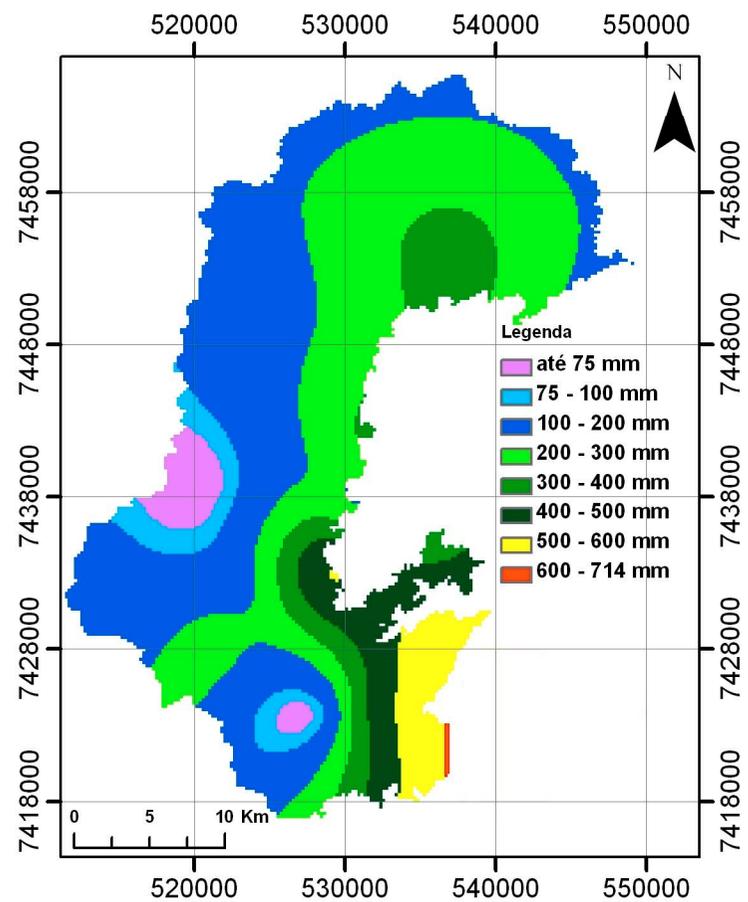


Figura 46 – Carta de pluviosidade do mês de Abril de 2008.

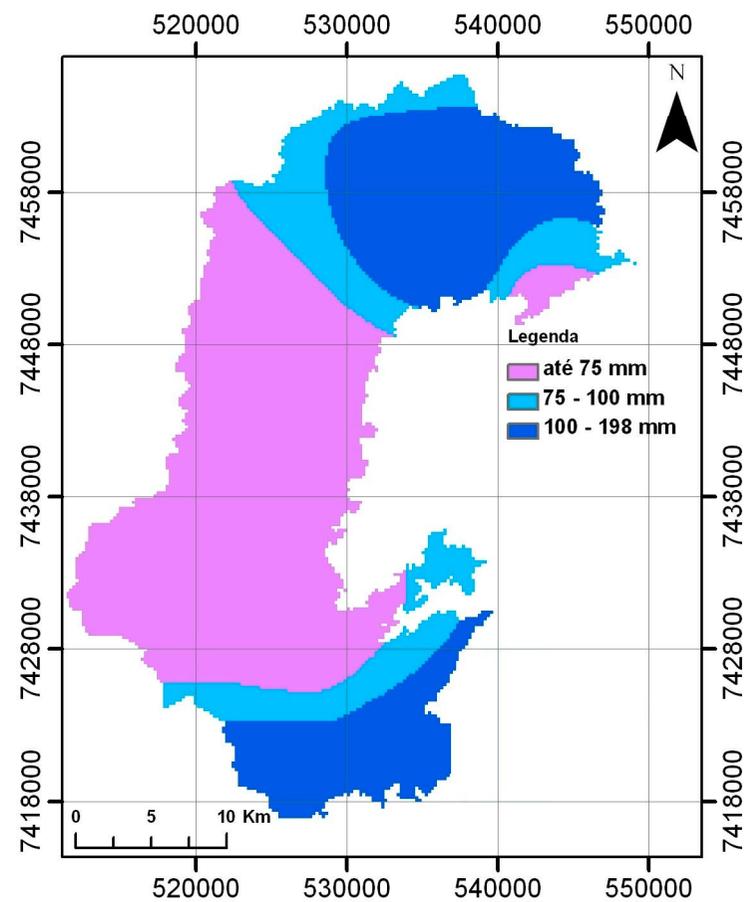


Figura 47 – Carta de pluviosidade do mês de Maio de 2008.

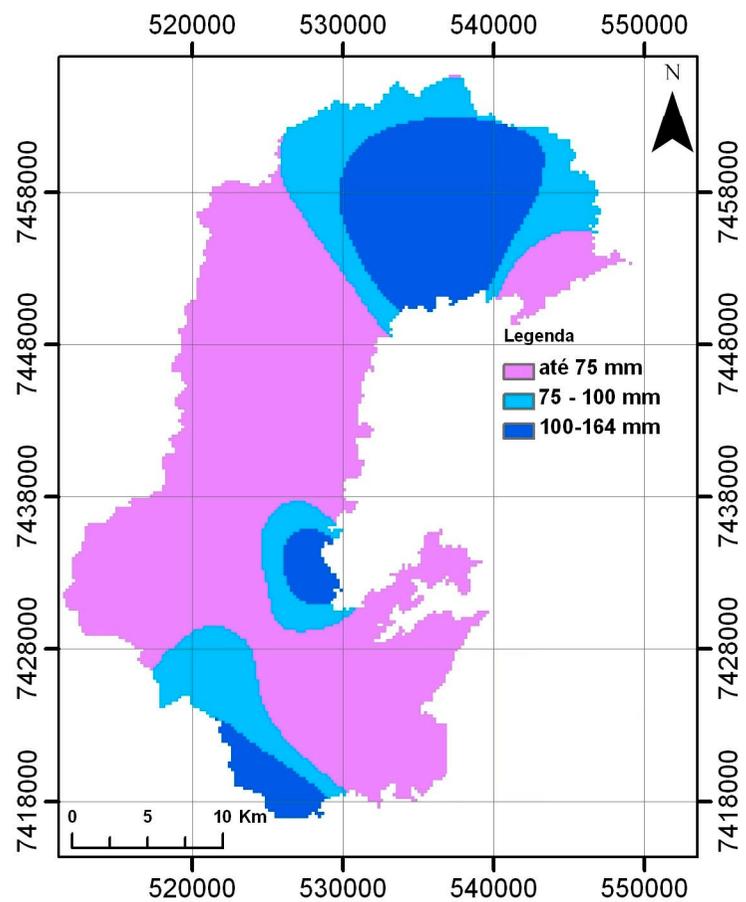


Figura 48 – Carta de pluviosidade do mês de Junho de 2008.

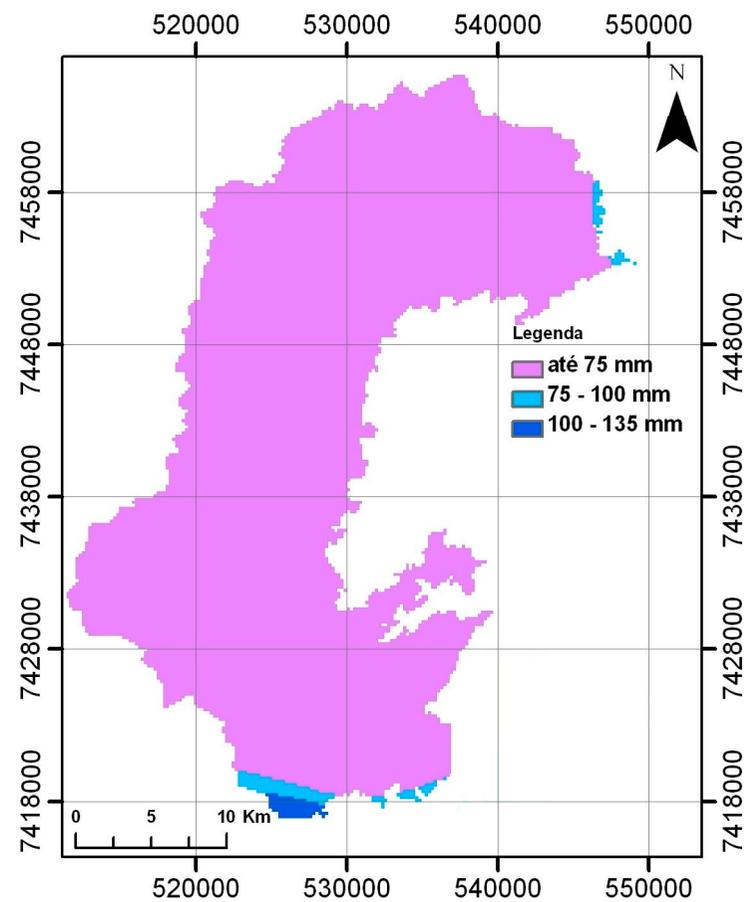


Figura 49 – Carta de pluviosidade do mês de Julho de 2008.

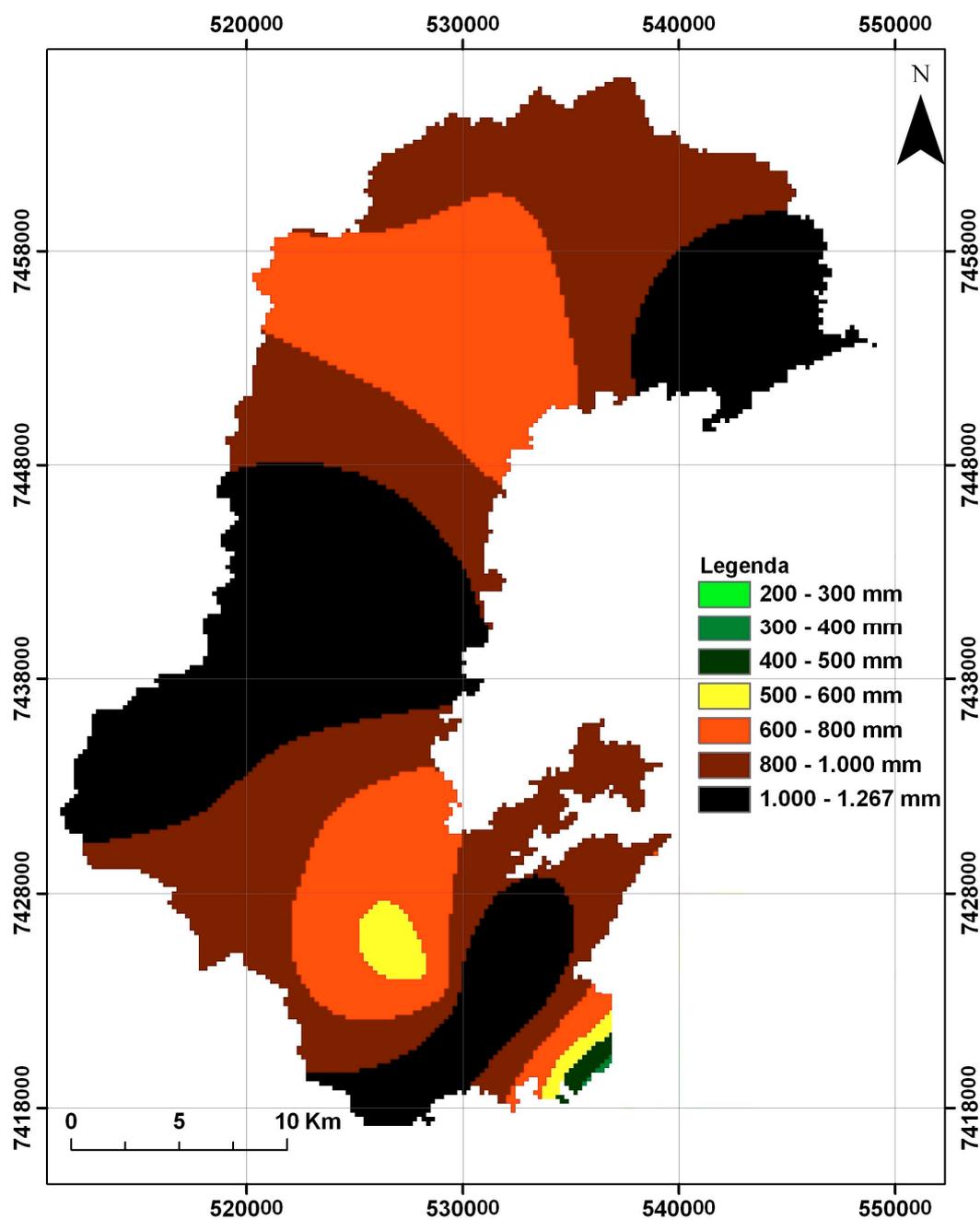


Figura 50 – Carta de pluviosidade do verão 2007/2008.

6.8.2 - CRUZAMENTO DA PLUVIOSIDADE COM A CARTA DE SUSCETIBILIDADE DE 2008

Para os dados anuais foram considerados apenas os dados retirados do mapa de isoietas de CPRM (2000) (Figura 51). Levando em conta as lacunas nos dados coletados pela defesa Civil de Paraty e a maior abrangência de dados daquele mapa de isoietas, optou-se por cruzá-lo com a carta de suscetibilidade de 2008 gerada com o MDE ASTER 15.

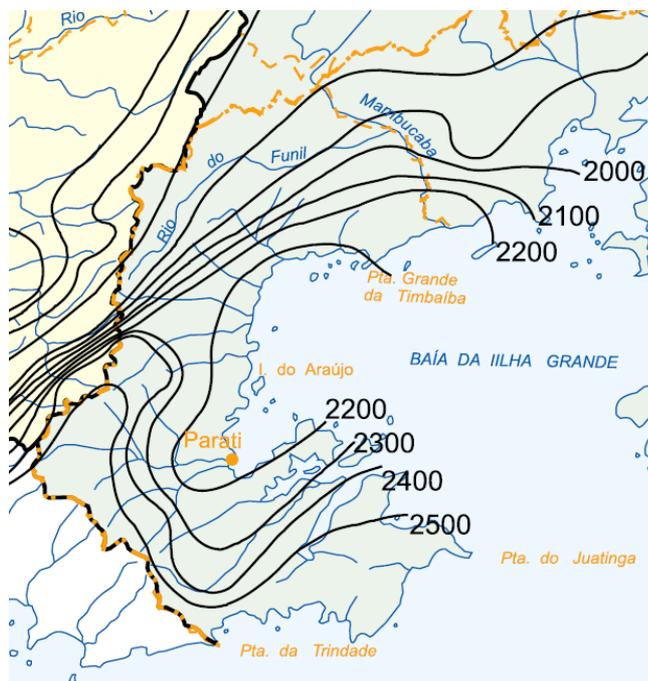


Figura 51 – Mapa de Isoietas do município de Paraty apresentado no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Considerou-se estes dados de pluviosidade apenas para se ter uma avaliação qualitativa de como a chuva poderia vir a interferir na suscetibilidade do município. Considerando a influência da pluviosidade do mapa de isoietas da CPRM (2000), o município se encontrou dividido em 18% (166,25 Km²) de áreas de baixa suscetibilidade, 35,6% (328,42 Km²) de áreas média suscetibilidade e 46,4% (427,33 km²) de áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos (Figura 52). Evidentemente é um dado grosseiro, indicando apenas ser o extremo norte do município, sem qualquer ocupação humana, a parte menos susceptível em se considerando reais os dados considerados.

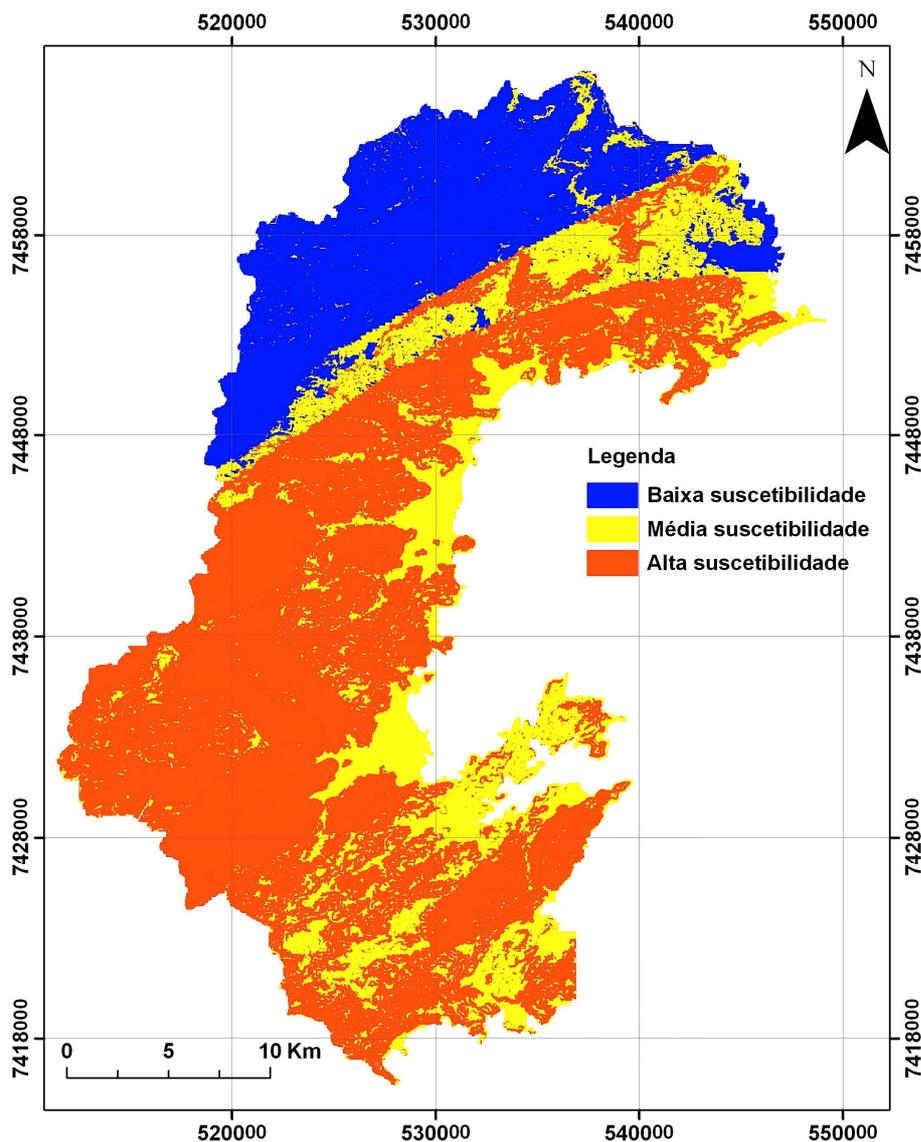


Figura 52 – Carta de Suscetibilidade a escorregamentos considerando a influência da pluviosidade anual indicada pela CPRM.

Com respeito aos dados de pluviosidade obtidos pela Prefeitura Municipal de Paraty, a carta de suscetibilidade a escorregamentos de 2008 foi cruzada com a carta de pluviosidade do verão. O intuito é o de delimitar as áreas onde a pluviosidade do período mais chuvoso (quando ocorrem os acidentes cuja suscetibilidade se estuda), aliada às características naturais dos terrenos, além do uso e cobertura do solo, poderia vir a intensificar os processos de escorregamentos no município. Com esse cruzamento o município de Paraty ficou dividido em 40,8% (376,02 Km²) de áreas de baixa suscetibilidade a escorregamentos induzidos pela

chuva, 45,4% (418,54 Km²) de áreas de média suscetibilidade a escorregamentos induzidos pela chuva e 13,8 % (127,43 Km²) de áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos induzidos pela chuva (Figura 53).

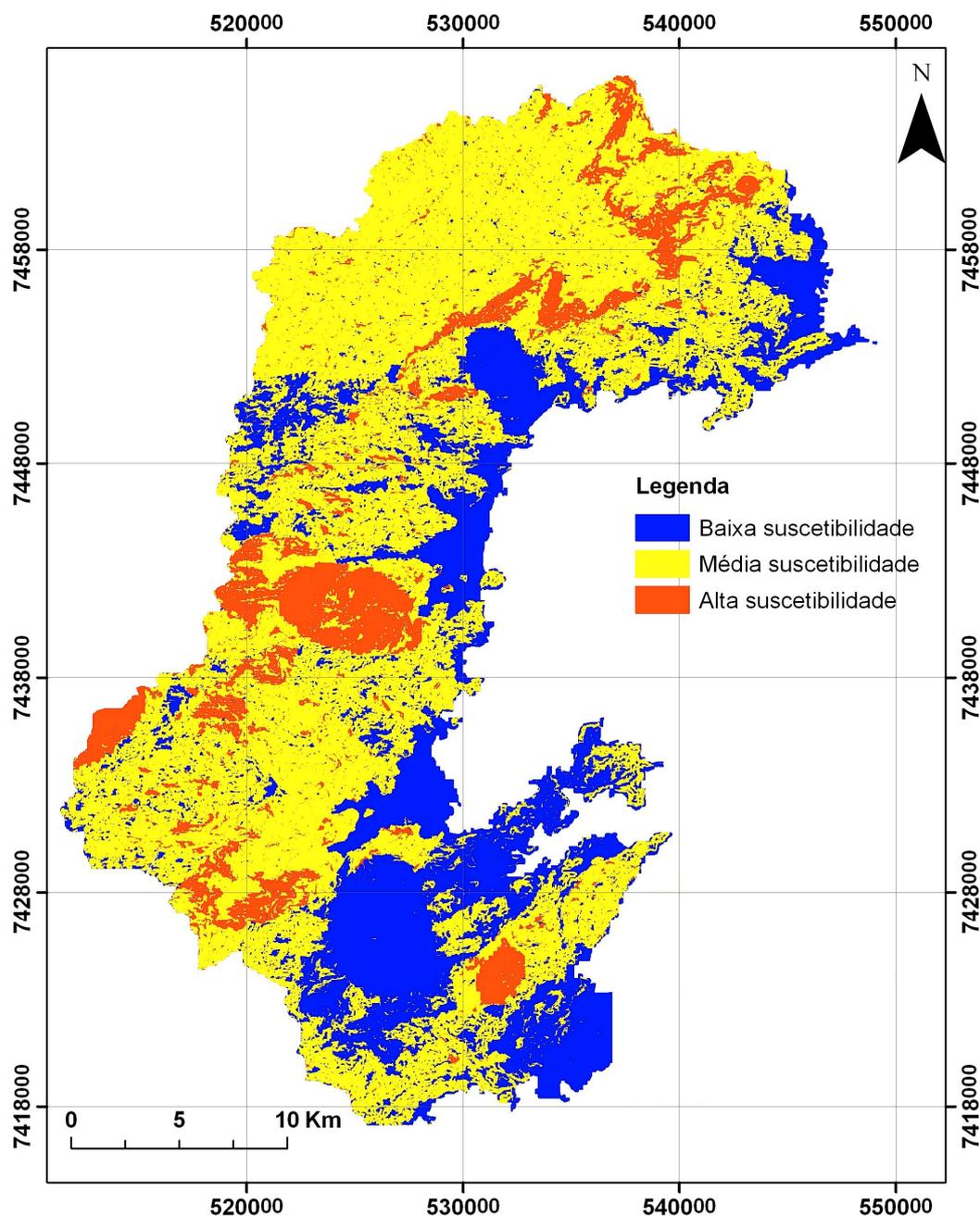


Figura 53 – Carta de Suscetibilidade a escorregamentos considerando a influência da pluviosidade no verão 2007-2008 (dados da Defesa Civil do Município de Paraty)

6.8.3 - OUTROS PARÂMETROS IMPORTANTES: PICOS DE CHUVA E DE CHUVA ACUMULADA

Dentro do período de dados de precipitação coletados em Paraty, ocorreram 60 episódios de chuva acima de 75 mm diários que segundo (Soares, 2006) indica uma grande possibilidade de ocorrência de escorregamentos e sendo que destes 34 episódios acima de 75 mm diários e inferiores a 100 mm diários (figura 54) e 26 com índices iguais ou superiores a 100 mm diários (figura 55) que segundo Lumb (1975) apud Soares (2006) poderiam levar a ocorrência de escorregamentos, que também indicariam um risco secundário de deslizamentos segundo Brand et al. (1984).

Ocorreu um (1) evento de chuva horária $>70\text{mm/hora}$, com 105 mm precipitados em 1:35 hrs em Tarituba, no dia 28 de janeiro de 2008, o que poderia ser um ponto detonador de deslizamentos segundo Brand et al. (1984). Foram calculados 407 episódios de chuva acima de 200 mm dentro de períodos acumulados de 15 dias consecutivos que também poderiam indicar segundo Lumb (1975) apud Soares (2006) a possibilidade da ocorrência de escorregamentos (figura 56). Foram encontrados 12 (doze) ocorrências de precipitação acima de 75 mm no 16º dia após um acumulado superior a 200mm nos 15 dias antecedentes, sendo uma (1) ocorrência na Graúna e outra no Sertão do Taquari, duas ocorrências na Graúna e no Jabaquara e cinco ocorrências em Patrimônio (figura 57).

Não foram informados índices diários acima de 200 mm, inviabilizando a comparação com os índices como os estipulados por Brand et al. (1984) onde acima de 270 mm indicariam risco principal de deslizamentos e por Guidicini e Iwasa (1976) apud Soares (2006) onde índices acima de 250-300mm ocasionariam escorregamentos.

Ainda que os dados não tenham o necessário rigor científico, fica evidente a necessidade de se obter a pluviosidade em diversos pontos do município, pois as variações são importantes e os picos de chuvas atingem os parâmetros considerados como de alto risco na literatura.

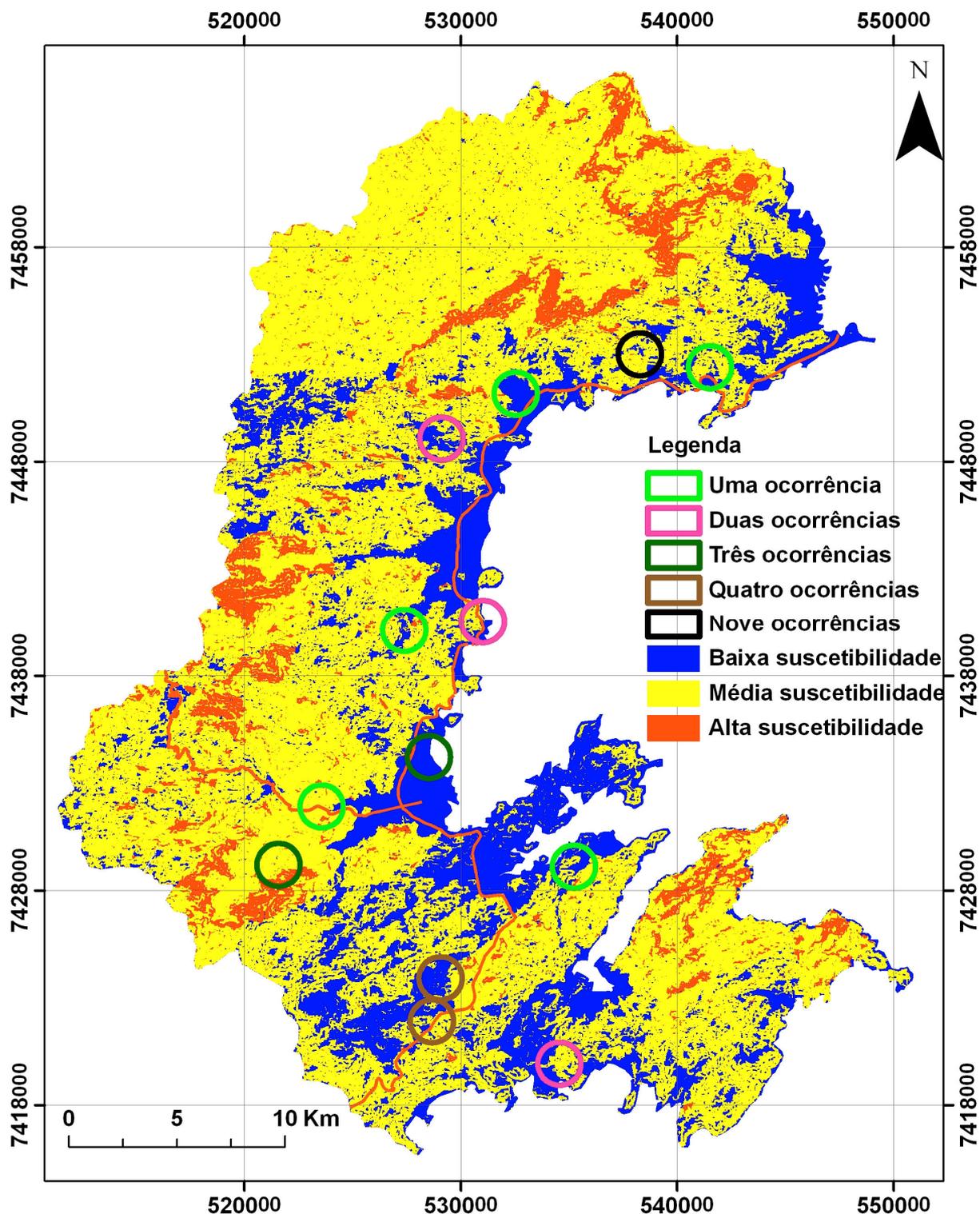


Figura 54 – Locais e número de ocorrência de chuva com índices acima de 75 mm diários e inferiores a 100 mm diários

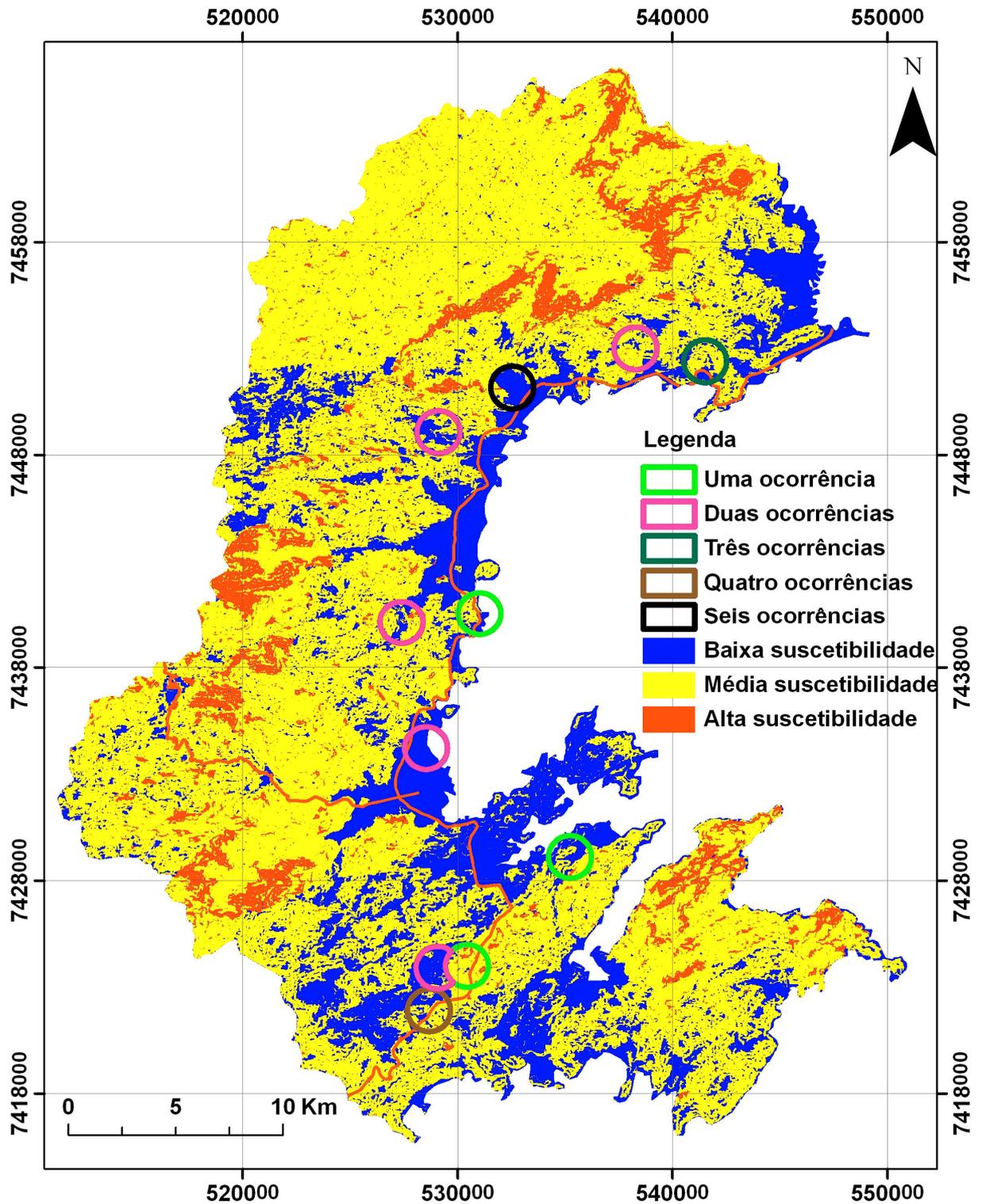


Figura 55 - Locais e número de ocorrência de chuva com índices iguais ou superiores a 100 mm diários

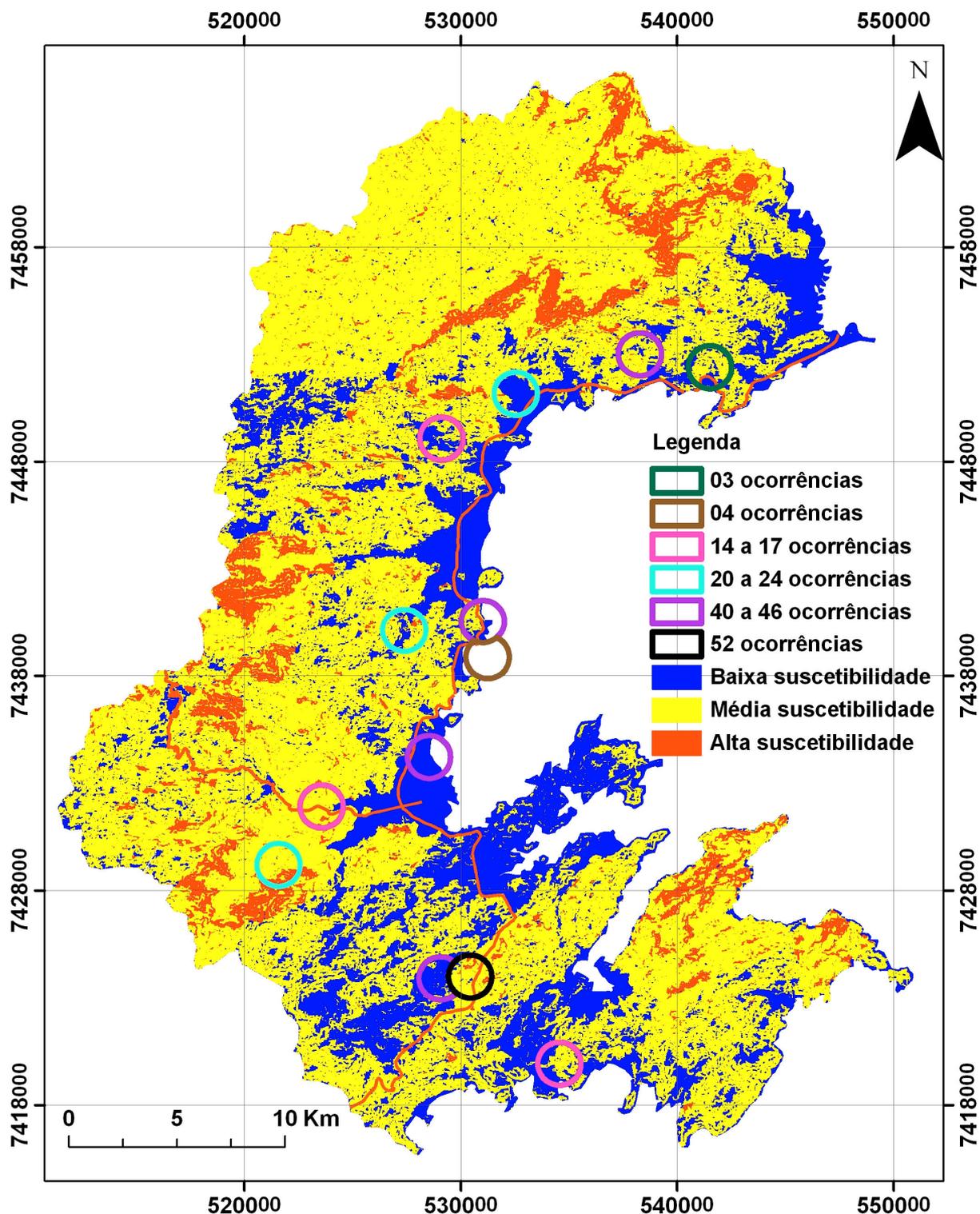


Figura 56 - Locais e número de ocorrência de chuva com índices acima de 200 mm dentro de períodos acumulados de 15 dias consecutivos

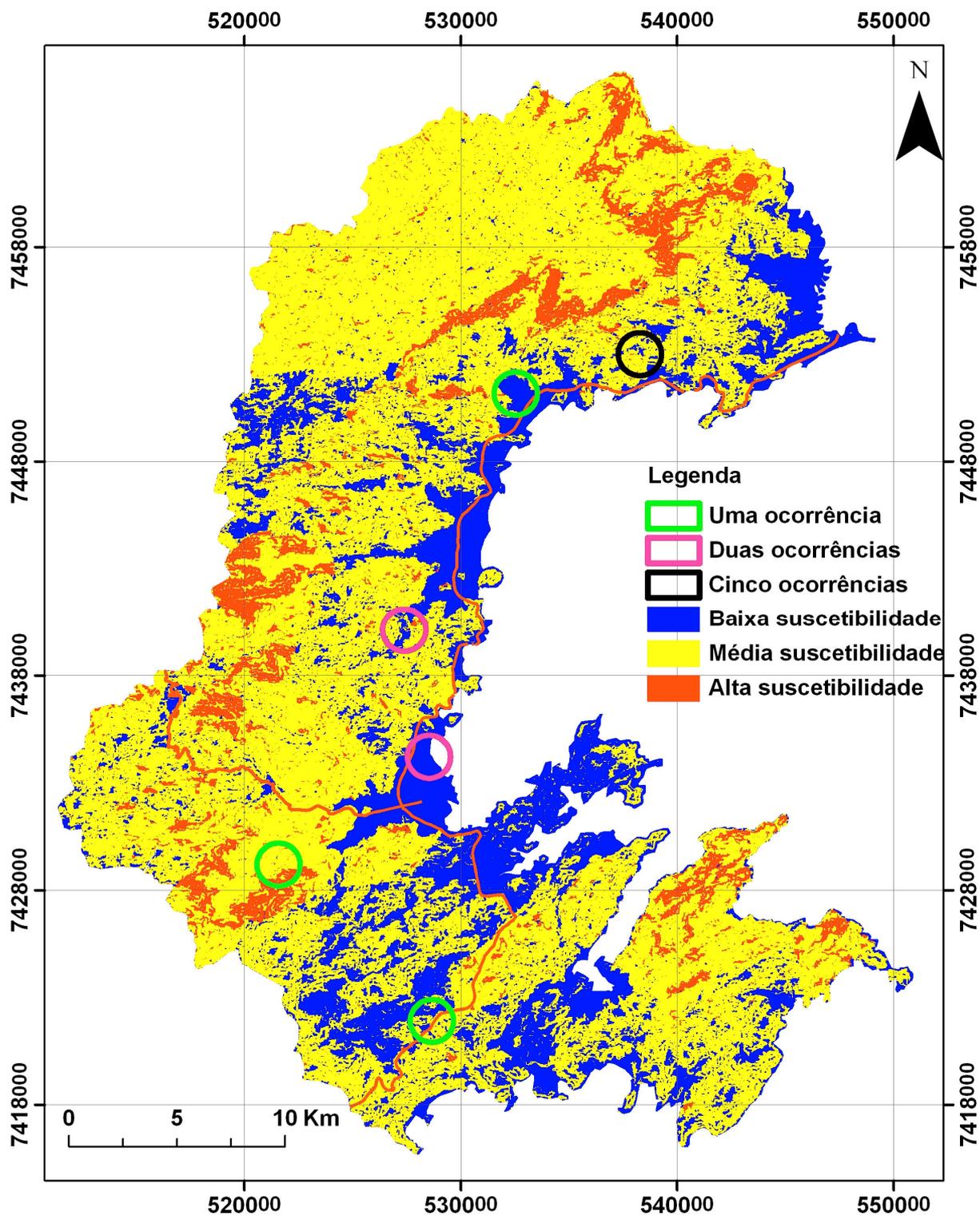


Figura 57 - Locais e número de ocorrência de chuva com índices acima de 75 mm no 16º dia após um acumulado superior a 200mm nos 15 dias antecedentes

6.9 – ANÁLISE DAS CICATRIZES ENCONTRADAS

Foram encontradas, através dos trabalhos de campo, uma série de cicatrizes de escorregamentos antigos e recentes. Como se pode notar nas figuras 58 e 59 as cicatrizes encontram-se em áreas de média e alta suscetibilidade de acordo com a carta de suscetibilidade gerada para o ano de 2008 com o MDE ASTER 15 m. Em geral, associadas às estradas e vias de acesso há intervenções humanas que influenciam nas características naturais do relevo e que na classificação do uso e ocupação do solo foram consideradas de alto impacto na suscetibilidade a escorregamentos nos terrenos do município. Apenas uma das cicatrizes da figura 59 não se encontra nessas condições, pois está localizada em área considerada de baixa suscetibilidade a escorregamentos próxima a um costão rochoso, mas possui áreas de média suscetibilidade em seu entorno.

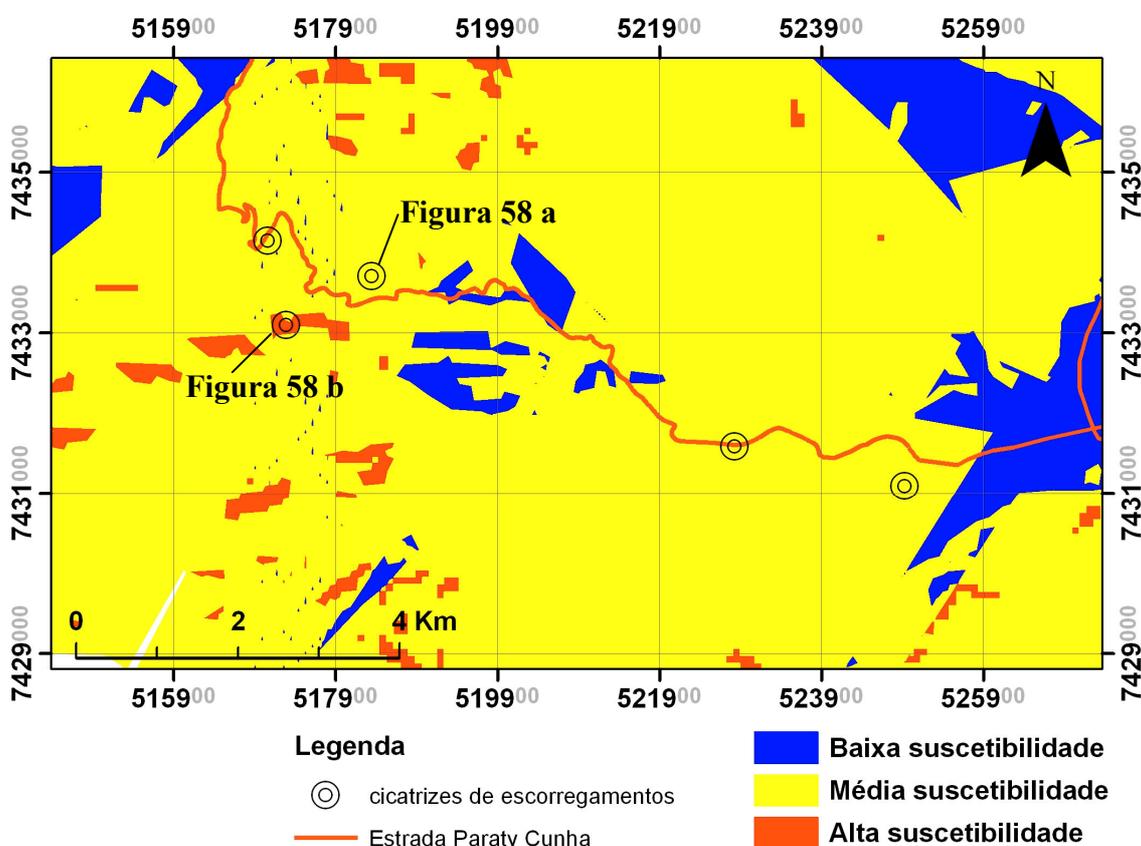


Figura 58 – Localização de cicatrizes no entorno da Estrada Paraty Cunha.



Figura 58 a – Escorregamento ocorrido em 10 de Janeiro de 2009 na estrada Paraty Cunha no Município de Paraty (foto de Graziela Moraes Barros).



Figura 58 b – Escorregamento ocorrido em 10 de Janeiro de 2009 na estrada Paraty Cunha no Município de Paraty (foto de Graziela Moraes Barros).

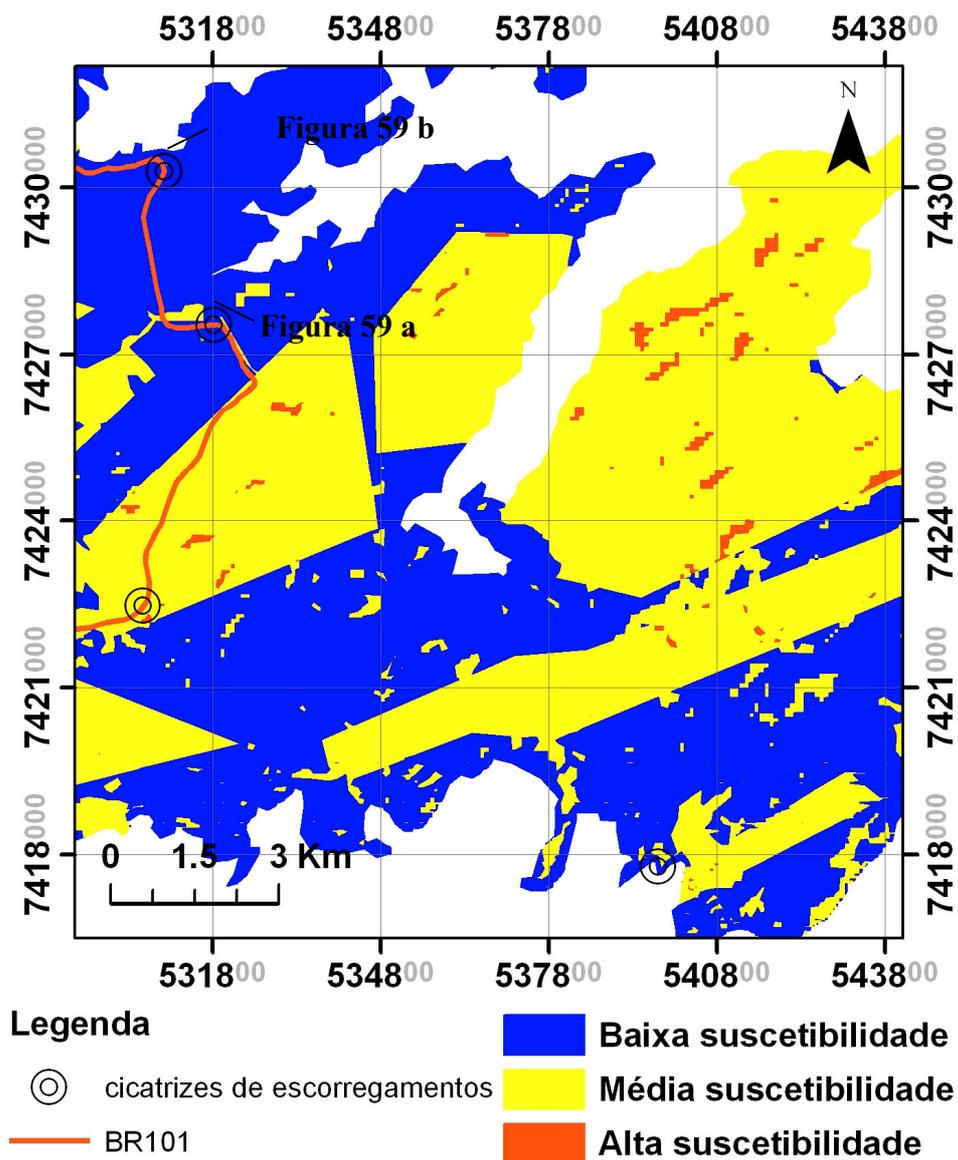


Figura 60 – Localização de cicatrizes no entorno da BR 101 e na parte oceânica do Município de Paraty.



Figura 59 a – Escorregamento recente ocorrido na BR 101.



Figura 59 b – Escorregamento recente ocorrido na BR 101.

7. CONCLUSÕES

O município de Paraty possui grande parte do seu território coberto por Mata Atlântica preservada, sobretudo nas escarpas da Serra do Mar. A pesquisa demonstrou, entretanto, a presença de contínuo desmatamento nos últimos 35 anos. Por possuir altas declividades na Serra do Mar, mas também relativamente amplas planícies, a população concentra-se essencialmente nas áreas de baixa declividade. E ainda restam muitas destas áreas sem ocupação, naturalmente as que sofrem maior pressão para ocupação. Não há, assim, uma pressão por espaço vital que exija a ocupação das encostas, que estão ainda pouco ocupadas no município, com raras intervenções no relevo.

As médias e altas encostas têm ocupação humana por ora incipiente. Quando ocupadas são por bananais e canaviais e, sobretudo, por pastos para uma pecuária que em geral não existe. Aqui também há que se salientar essa curiosidade observada nos vôos de helicóptero. A pressão agrícola é irrisória, o desmatamento das médias e altas encostas se faz sem qualquer uso posterior, em geral ilegal, pois ocupam áreas de um Parque Nacional e áreas protegidas. De qualquer forma estas ocupações não alteram o relevo, executando a prática de corte e aterro, apenas retiram a vegetação.

Entretanto, a retirada da vegetação para uma ocupação efetiva ou apenas para a abertura de pastos e áreas cultiváveis já se caracteriza como uma interferência que altera as propriedades naturais dos terrenos, podendo levar à sua futura desestabilização pela perda da vegetação, alteração das suas propriedades hidrogeológicas e geotécnicas. Observe-se que o desmatamento, mesmo quando feito para uma pseudo-ocupação agrícola (apenas para marcar a área de propriedades) facilita a posterior ocupação efetiva.

A evolução na ocupação das áreas aqui classificadas como de alta suscetibilidade a escorregamentos é clara. O padrão geral se manteve ao longo dos 35 anos de análise, como mostra uma tendência linear com R^2 de 0,97 (Figura 34). Ou seja, o avanço é contínuo, com pequenas variações ao longo de três décadas e meia. O aumento indicado entre 2007 e 2008 pode não ser significativo, pois foram usadas imagens de dois sensores diferentes. Mas a tendência em 35 anos é um dado firme, mesmo considerando o caráter indicativo do trabalho e a baixa escala necessariamente associada à metodologia utilizada. A perspectiva de acidentes com perdas humanas no futuro é assim notavelmente crescente.

Atualmente o município de Paraty não enfrenta problemas graves em relação à suscetibilidade a movimentos de massa, exceto nas proximidades de estradas e vias de acesso, a única interferência antrópica significativa verificada como de alta influência na suscetibilidade, onde foram observados em campo cicatrizes e escorregamentos ativos. Ao longo da BR-101, são inúmeros os relatos de interrupções ocasionados por escorregamentos, situação preocupante uma vez que a BR-101 é a única rota de escape em caso de acidentes nas usinas nucleares de Angra dos Reis, uma vez que os escorregamentos de 10/01/2009 destruíram o acesso a Cunha (SP).

As perspectivas são apreensivas, mas este estudo é um caso em que o risco futuro é alertado ainda em tempo de ser minimizado e/ou evitado. Considerando ser a expansão urbana e rural como inevitável e contínua, um Plano Diretor com a identificação das áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa é imprescindível. Faz-se necessário que as áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos indicadas nesse estudo de forma preliminar, bem como as áreas com altas declividades e presença de solos rasos, as vizinhas a paredões rochosos, as com declividades superiores a 45° (atualmente áreas de proteção permanente) sejam conservadas, estando a salvo da ocupação humana e do desmatamento e destinadas ao turismo

ecológico já bem desenvolvido na região. Projetos de recuperação da vegetação deveriam ser estimulados e aplicados nessas áreas.

Outro fator para o qual se deve atentar é que, apesar da maior parte das escarpas da Serra do Mar, na região do município de Paraty, encontrar-se protegida por lei, por meio de Unidades de Conservação, é necessário que exista uma reversão do quadro de desrespeito aos objetivos específicos de cada Unidade, como no caso da ocupação sempre irregular e ilegal dentro dos domínios do Parque Nacional da Serra da Bocaina, onde não é permitida a presença de assentamentos humanos e, no entanto, como foi mostrado, há extensas áreas desmatadas sem qualquer ganho econômico.

Além disso, deveriam ser executados estudos geotécnicos dos terrenos antes do estabelecimento dos vetores da expansão urbana e rural no município. Importante também é impedir a especulação imobiliária, a grilagem de terras e a expulsão das populações locais e tradicionais mais carentes para as encostas florestadas da Serra do Mar, repetindo o quadro clássico das metrópoles brasileiras, que vêem muitas de suas áreas protegidas e de notório risco geológico serem ocupadas. Um exemplo mais próximo, entretanto, é o da sede do município de Angra dos Reis: a partir da década de 1970, em 20 anos, a cidade avançou sobre as encostas, na maior parte sub-habitações, acumulando já dezenas de vidas ceifadas por escorregamentos. Um Plano-Diretor corretamente desenvolvido e uma fiscalização efetiva impedirão a continuidade dos desmatamentos. Com isso não aumentará a suscetibilidade natural a escorregamentos do município e impedirá a colonização de áreas instáveis, resguardando futuras perdas de vidas e de infra-estrutura. Em acréscimo, sabe-se que o turismo na região tem forte viés de eco-turismo, sendo assim fortemente dependente da preservação das florestas. Planejar a ocupação, pois há terrenos a serem ocupados, e preservar as florestas, portanto, não apenas minimizam os riscos geológicos como inevitáveis prejuízos para a principal atividade econômica local, o turismo.

A metodologia utilizada é uma de muitas das atualmente em uso e novos mapas e novas informações podem ser adicionados futuramente, visando um maior entendimento e expressão da realidade local, permitindo determinar com maior grau de certeza as áreas potencialmente mais sujeitas à deflagração de movimentos de massa. Em termos metodológicos é importante ressaltar a importância da rede pluviométrica implantada pela Defesa Civil de Paraty. Sua continuidade e ampliação são fundamentais para um melhor entendimento futuro do padrão pluviométrico do Município, uma vez que os poucos dados disponíveis evidenciam grande variabilidade de padrões, com sub-áreas com tendência a maiores pluviosidades médias e picos de pluviosidade intensa, fator detonador dos movimentos de massa. O que diferencia Paraty dos municípios circundantes – Angra dos Reis, Cunha e Ubatuba - é principalmente sua menor população, quase que integralmente disposta nas áreas planas ou de baixa declividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELLA, E. A. C.; VAN WESTEN, C. J. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology*, v. 94, n. 3-4, p. 453-466, 2008.

ALEXANDER, D. E. A brief survey of GIS in mass-movement studies, with reflections on theory and methods. *Geomorphology*, v. 94, n. 3-4, p. 261-267, 2008.

ALMEIDA, M. C. A. Concepções de natureza e conflitos pelo uso do solo em Parati-RJ. 1997. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Desenvolvimento Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ANBALAGAN, D. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, v. 32, p. 269– 277, 1992.

ANDRADES FILHO, C. O.; GUASSELLI, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Tratamento de imagem SRTM para análise da relação entre arenização, drenagem e orientação de vertentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis* : INPE, 2007.p. 2283-2290.

ARAÚJO, P. C. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS: UMA ABORDAGEM PROBABILÍSTICA. 2004. 172 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2004.

ARTUR P.C. Paleolínhamentos na Bacia do Paraná: favorabilidade para acumulações de petróleo. 1998. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

AUGUSTO FILHO, O.; ALBERTO, M. C. Mapas de declividade: análise dos resultados obtidos pelo método manual e utilizando SIG IDRISI e ARC/INFO. In: GISBRASIL99., 1999, Salvador. *Anais...* Salvador: GISBRASIL, 1999. CD-ROM.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O. Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo. ABGE/IPT, 1995. p.77-99.

AUGUSTO FILHO, O. SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COM BASE EM RETROANÁLISE REGIONAL: APLICAÇÃO NA SERRA DO MAR, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11., 2005. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis*: ABGE, 2005. p. 2226 – 2236.

AUGUSTO, A. A .Z. Atualização cartográfica da rede de drenagem e a análise morfométrica do relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 09., 1998. Santos. *Anais...* Santos: INPE, 1998. P. 473-485.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Fluxos d'água subsuperficiais associados à origem das formas côncavas do relevo. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992. Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro: ABGE/ABMS, 1992. p. 709-720.*

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, v. 65, p. 15–31, 2005.

BAEZA, C.; COROMINAS, J. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surf Process Landforms*, v. 26, p. 251–1263, 2001.

BARREDO, J.; BENAVIDES, A.; HERVA'S, J.; VANWESTEN, C. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *JAG*, v. 2, n.1, p. 9 – 23, 2000.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. Avaliação do altimetria do modelo digital de elevação do SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. Anais ... Florianópolis : INPE, 2007.p. 1243-1250.

BEGUERIA, S. Changes in land cover and shallow landslide activity: a case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology* , v. 74, p.196–206, 2006.

BERTAGNA, S. M. A.; RIEDEL, P. S. Elaboração de carta de suscetibilidade a escorregamento através de sistema de informação geográfica; média-baixa bacia do rio Perequê (Serra do Mar – SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9., 1999. São Pedro. Anais... São Pedro: ABGE, 1999. CD-ROM.

BITAR, O.Y. Meio Ambiente & Geologia. São Paulo: Ed.Senac, 2004.161 p.

BOSIO, V.; ZUIM, L. C. Utilização de dados altimétricos na cartografia do IBGE e avaliação de metodologias de comparação entre modelos digitais de terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. Anais ... Florianópolis : INPE, 2007.p. 1257-1264.

BRAND, E.W.; PREMCHITT, J.; PHILLIPSON, H.B. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, 4., 1984. Toronto. Anais... Toronto: BiTech Publishers. p. 377-384.

BRASIL. Plano de Manejo do Parque Nacional da Bocaina. Ministério do Meio Ambiente. 2000. Disponível em: <http://www.paraty.com.br/bocaina/index.htm>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2007.

BRASIL. Capacitação em Mapeamento e gerenciamento de riscos. Ministério das Cidades. 2007. Ogura, A. T.; Macedo, E.S.; Mirandola, F.A.; Yoshikawa, N.K.; Corsi, A.C.; Canil, K.; Gramani, M.F.; Silva, F.C. (org.). Brasília, Ministério das Cidades, IPT. 122 p.

BRUNSDEN, D.; DOOMKAMP, J.C.; FOOKES, P.G.; JONES, D.K.C.; KELLY, J.M.H. Large scale geomorphological mapping and highway engineering design. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, v. 8, p. 227-253, 1975.

BURTON, A.; BATHURST, J. C. Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. *Environmental Geology*, v. 35, p. 89–99, 1998.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C. C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M.; LUCENA, I. ÁLGEBRA DE MAPAS. São José dos Campos, INPE, 2001. 31p. INPE-8566-PRE/4310.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS. São José dos Campos, INPE, 2ª Ed., 1998. 169 p.

CAN, T.; NESFESLIOGLU, H.A.; GOKCEOGLU, C.; SONMEZ, H.; DUMAN, T.Y. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, v. 72, p. 250–271, 2005.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 16, p. 427– 445, 1991.

CARRARA, A.; GUZZETTI, F.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards*, v. 20, p. 117–135, 1999.

CARRARA, A.; PIKE, R. J. GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk. *Geomorphology*, v. 94, n. 3-4, p. 257-260, 2008.

CASTRO, J. F. M. Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica na Temática da Morfodinâmica: o exemplo do estudo da Bacia do Rio Mogi -Cubatão/SP. 1993. 18 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CASTRO, J. F. M. Mapa Morfodinâmico: Uma Abordagem Metodológica de Uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG). *Geociências*. v. 17, n.1, p. 161-185, 1998.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. Environmental Risks and Geography: Conceptualizations, Approaches and Scales. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 28, n.2, p. 11-30, 2005.

CAVALCANTE, V. R.; MAGALHÃES SOBRINHO, F. C.; SILVA JÚNIOR, A. F. Estudo do crescimento urbano no município de Goiânia-GO por meio de ferramentas de geoprocessamento com ênfase em sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 5143-5150.

CHENG, K.; WEI, C.; CHANG, S. Locating landslides using multitemporal satellite images. *Advances in Space Research*, v. 33, p. 296–301, 2004.

CHUNG, C.J.P.; FABBRI, A.G. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Special Issue on Landslides and GIS. Natural Hazards*, v. 30, p. 451–472, 2003.

COELHO-NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; FERNANDES, M. C.; LACERDA, W. A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. *Geomorphology*, v. 87, n. 3, p. 120-131, 2007.

CONTI, J. B. *A Geografia Física e as Relações Sociedade/Natureza no Mundo Tropical*. São Paulo, Ed.Humanitas, 2002. 30 p.

COUTO, D. L. N.; FREITAS, M. M.; COUTINHO, B. H.; FREITAS, L. E. Geometria de encostas e declividade como parâmetros para risco de deslizamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2005, p.1-14.

CPRM. *Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro*. Organizado por Elisabeth Guelman Davis e Mauro Cunha Naghettini. Brasília: CPRM, 2ª edição revista em 2000. 50 p.

CPRM. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. Organizado por Luiz Carlos da Silva e Hélio Canejo da Silva Cunha. Brasília: CPRM, 2ª edição revista em 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; PALMEIRA.A.F. Intensidade Pluviométrica: Uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos: INPE, 2004. p. 30. (INPE-11237-RPQ/760)

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade aos movimentos de massa no município de Caraguatatuba-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu. *Anais ... Foz do Iguaçu*: INPE, 2001. p. 931-933.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Estudo de Movimentos de Massa no Município de Caraguatatuba-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu. *Anais ... Foz do Iguaçu*: INPE, 2001. p. 931-933.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. *Imagens Fotográficas Derivadas de MNT do Projeto SRTM para Fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia*. São José dos Campos: INPE, 2004. 39 p. INPE-11238-RPQ/761.

CRUZ, O. A serra do mar e o litoral na área de Caraguatatuba: contribuição a geomorfologia tropical litorânea. 181p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo. 1974.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; REIS, R. B. Ortorretificação de imagens CBERS2 usando DEM do SRTM - Área de aplicação: Angra dos Reis - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 899-906.

DAI, F.; LEE, C.; NGAI, Y. Landslide risk assessment and management: An overview. *Engineering Geology*, v. 64, p. 65–87, 2002.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; LI, J.; XU, Z. W. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, v. 40, p. 381–391, 2001.

DAI, F.C.; LEE, C.F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, v. 42, p. 213-228, 2002.

DAL'ASTA, A.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria-RS: O caso do Morro Cechela. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005. São Paulo. *Anais ...* São Paulo, 2005. p. 896-905.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. M.; SILVA, C. R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL MINEIRO, 2005. Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro, 2005. p. 1-12. consultado no site http://www.cprm.gov.br/publique/media/artigo_geoambientalRJ.pdf em 02 de novembro de 2007.

DELGADO, I. C. M. S.; BATISTA, G. T.; CATELANI, C. S. O Avanço da Ocupação nas Áreas de Risco em Campos do Jordão: Uma Comparação entre 1986 e 2003. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 2006. Cartagena de Índias, Colombia. *Anais ...* Colombia, 2006. p. 9.

DIAS, L. S. O.; ROCHA, G. A.; BARROS, E. U. A.; MAIA, P. H. P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados*, v. 14, n. 2, p. 265-271, 2004.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. Análise da suscetibilidade a deslizamentos no bairro do Saco Grande, Florianópolis-SC. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, v. 21, n. 1, p. 91-104, 2002.

DOMINGUÉZ-CUESTA, M. J.; JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M.; BERREZUETA, E. Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. *Geomorphology*, v. 89, p. 358-369, 2007.

DONATI, L.; TURRINI, M. C. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: Application to an area of the Apennines (Valnerina:Perugia, Italy). *Engineering Geology*, v. 63, p. 277– 289, 2002.

DUARTE, G. G. F.; ASSAD, M. L. L. Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007.p. 4849-4855.

EASTMAN, J.R. Idrisi: exercícios tutorais. Porto Alegre, UFRGS, 1994. 109p.

ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C.; SALDANHA, D. L.; GUERRA, T.; PORTO, M.L. Análise e diagnóstico ambiental do Vale do Taquari - RS - Brasil, utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 5191-5198.

EIRADO, L. G.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H. Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, n. 3, p. 426-436, 2006.

ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, v. 66, p. 327–343, 2005.

FARR, T.G.; KOBRICK, M. The Shuttle Radar Topography Mission, produces a wealth of data. *American Geophysical Union Eos*, v. 81, p. 583-585, 2000.

FEITOSA, F. F. Paisagem natural e paisagem construída. O caso da lagoa da Conceição na Ilha de Santa Catarina. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 57p

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 suscetíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, n.2, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. ; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena*, v. 55, p.163-181, 2004.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. Cap. 3, p. 123-194.

FERREIRA, M.C. Procedimentos para a Elaboração de Mapas de Declividade e de Orientação de vertentes - Utilizando o Sistema de Informação Geográfica IDRISI. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 5., 1994. Rio Claro. *Boletim...* Rio Claro: IGCE/UNESP, 1994. p. 35-37.

FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS. EXEMPLO DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO, SERRA DO MAR PAULISTA. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 60, n. 04, p. 385 – 400, 2008.

FLEXOR, G. G. Agricultura Multifuncional e Meio Ambiente: especificidade territorial e conflitos em torno dos Recursos Naturais no Município de Paraty. In: CONGRESSO ACADÊMICO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO DO RIO DE JANEIRO, 1., 2004. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2004.

FONTELES, H. R. N.; VERÍSSIMO, C. U. V.; COLARES, J. Q. S. Mapeamento geotécnico da vertente sudeste da Serra de Maranguape (Ceará) com ênfase em movimentos de solos e rochas. *Revista de Geologia*, v. 14, p. 22-32, 2001.

FOURNIADIS, I.G.; LIU, J.G.; MASON, P.J. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan-Badong. *Geomorphology*, v. 84, p. 126-144, 2007.

FUJITA, K.; SUZUKI, R.; NUIMURA, T.; SAKAI, A. Performance of ASTER and SRTM DEMs, and their potential for assessing glacial lakes in the Lunana region, Bhutan Himalaya. *Journal of Glaciology*, v. 54, n. 185, p. 220-228, 2008.

FURIAN, S.; BARBIÉRO, L.; BOULET, R. Organisation of the soil mantle in tropical southeastern Brazil (Serra do Mar) in relation to landslides processes. *Catena*, n. 38, p. 65-83, 1999.

GERSCOVICH, D.M.S.; VARGAS, E.A.; CAMPOS, T.M.P. On the evaluation of unsaturated flow in a natural slope in Rio de Janeiro, Brazil. *Engineering Geology*, v. 88, p. 23-40, 2006.

GLCF (GLOBAL LAND COVER FACILITY) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) technical Guide. Consultado em 02 de novembro de 2007. http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/technical/techguide_srtm.pdf

GOKCEOGLU, C.; AKSOY, H. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, v. 44, p. 147– 161, 1996.

GOKCEOGLU, C.; SONMEZ, H.; ERCANOGLU, M. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altindag (settlement) region in Turkey. *Engineering Geology*, v. 55, p. 277–296, 2000.

GOMES, G. J. C.; SOBREIRA, F. G.; CASTRO, J. M. G. Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 2681-2688.

GOMES, L. J.; CARMO, M. S.; SANTOS, R. F. Conflitos de interesses em Unidades de Conservação do Município de Parati, Estado do Rio de Janeiro. *Informações Econômicas*, v. 34, n. 6, p. 11, 2004.

GÓMEZ, H.; KAVZOGLU, T. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, v. 78, p. 11-27, 2005.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2.ed. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194 p.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, v. 31, p. 181–216, 1999.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, É. S., FUKS, S. D.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS MORFOMÉTRICAS PARA SUBSIDIAR O MAPEAMENTO PEDOLÓGICO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003. Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 123-130.

HERVÁS, J.; BARREDO, J. I.; ROSIN, P. L.; PASUTO, A.; MANTOVANI, F.; SILVANO, S. Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide, Italy. *Geomorphology*, v. 54, p. 63-75, 2003.

HIGA, L. T.; PARANHOS FILHO, A. C.; TORRES, T. G.; SALLES, A.T. Avaliação da precisão vertical do modelo SRTM para a bacia do rio Paraguai, no Estado de Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 01., 2006. Campo Grande. *Anais ...* Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p. 834-840.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Manual de ocupação de encostas. São Paulo: IPT, 1991. 216p. (Publicação, 1831)

IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; DEL CASTILLO, F.; EL HAMDOUNI, R.; CHACÓN MONTERO, J. Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 24, p. 537–544, 1999.

KAZMIERCZAK, M. L.; SEABRA, F. B. Índice de susceptibilidade de degradação ambiental [ISDA] em áreas do cerrado paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 2745-2752.

KERVYN, M.; GOOSSENS, R.; JACOBS, P.; ERNST, G.G.J. Mapping volcano topography with remote sensing: ASTER vs SRTM. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 22, p. 6515-6538, 2008.

KNAPEN, A.; KITUTU, M.G.; POESEN, J.; BREUGELMANS, W.; DECKERS, J.; MUWANGA, A. Landslides in a densely populated county at the footslopes of Mount Elgon (Uganda): Characteristics and causal factors. *Geomorphology*, v. 73, p. 149-165, 2006.

KOMAC, M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, v. 74, p. 17-28, 2006.

KUX, H. J. H.; ARAÚJO, E. H. G.; DUPONT, H. S. J. B. Imagens de alta resolução do satélite Quickbird e técnicas de SIG para a análise de problemas geológico-geotécnicos em áreas urbanas: estudo de caso Belo Horizonte (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 573-580.

LARSEN, M. C.; TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology*, v. 24, p. 309-331, 1998.

LEE, S. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 7, p. 1477-1491, 2005.

LEE, S.; CHOI, U. Development of GISbased geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea. *Geosci J* 7:243-252 Lee S, Choi U (2003) Development of GISbased geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea. *Geoscience Journal*, v. 7, p. 243-252, 2003.

LEE, S.; CHOI, U. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model. *International Journal of Geographical Information Science*. v.18, n. 8, p. 789-814, 2004.

LEE, S.; DAN, N. T. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: Focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environmental Geology*, v. 48, p. 778-787, 2005.

LEE, S.; MIN, K. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, n. 40, p. 1095-1113, 2001.

LEE, S.; TALIB, J. A. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, v. 47, p. 982-990, 2005.

LEE, S.; RYU, J.; LEE, M.; WON, J. Landslide susceptibility analysis using artificial neural network at Boun, Korea. *Environmental Geology*, n. 44, p. 820-833, 2003a

LEE, S.; RYU, J.; MIN, K.; WON, J. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surface Process and Landforms*, v. 28, p. 1361-1376, 2003b.

LEE, S.; RYU, J.; WON, J.; PARK, H. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, v. 71, p. 289-302, 2003c.

LEE, S.; CHOI, J.; MIN, K. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, v. 43, p. 120-131, 2002a.

LEE, S.; CHWAE, U.; MIN, K. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. *Geomorphology*, v. 46, p. 149-162, 2002b.

LEE, S.; CHOI, J.; MIN, K. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, n. 43, p. 120-131, 2002.

LEE, S.; CHOI, J.; MIN, K. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 11, p. 2037-2052, 2004.

LEE, S.; CHOI, J.; WOO, I. The effect of spatial resolution on the accuracy of landslide susceptibility mapping: a case study in Boun, Korea. *Geosciences Journal*, v. 8, n. 1, p. 51-60, 2004.

LEE, S.; CHWAE, U.; MIN, K. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area, Korea. *Geomorphology*, v. 46, p. 149-162, 2002b.

LIN, P. S.; LIN, J. Y.; HUNG, H. C.; YANG, M. D. Assessing debris flow hazard in a watershed in Taiwan. *Engineering Geology*, v. 66, p. 295-313, 2002.

LINEBACK G., M.; MARCUS, W.; ASPINALL, R.; CUSTER, S. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology*, v. 37, p. 149-165, 2001.

LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S.; BENTZ, C. M.; FERREIRA, M. V.; NALETO, J. L. C. Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico - análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 2785-2796.

LOPES, J. A. U. Some Remarks on the bases of landscape evolution theories. Algumas notas sobre o embasamento das teorias de evolução das paisagens. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 52, p.77-93, 2003.

LOPES, E. E. Uso da geotecnologia para a geração de cartas temáticas do município de nanuque - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2006. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis: UFSC-Florianópolis, 2006, p.8.

LORENTE, A.; GARCIA-RUIZ, J.; BEGUERIA, S.; ARNA´EZ, J. Factors explaining the spatial distribution of hillslope debris flows. *Mountain Research and Development*, v. 22, p. 32– 39, 2002.

LUZI, L.; FLORIANA, P. Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (a:50,000 Fabriano geological map sheet). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 15, p. 83–94, 1996.

LUZI, L.; PERGALANI, F. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the ‘Oltre Po Pavese’ case history. *Natural Hazards*, v. 20, p. 57–82, 1999.

LUZI, L.; PERGALANI, F.; TERLIEN, M.T.J. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Engineering Geology*, v. 58, p. 313– 336, 2000.

MACHADO FILHO, J. G. Estabilidade de encostas e condicionantes geológicos, geomorfológicos, estruturais, num trecho da Serra de Cubatão. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MANDY, L. G.; ANDREW, M. W.; RICHARD, A.; STEPHAN, G. C. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology*, v. 37, p. 149–165, 2001.

MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. *Geomorphology*, v. 15, p. 213– 225, 1996.

MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A A A; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: Decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. *Revista do Instituto de Geociências - USP. Geologia USP Série Científica*, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006.

MATTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. Remote sensing of. Landslides: na Analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment*, v. 98, p. 284-303, 2005.

MCKEAN, J.; BUECHEL, S.; GAYDOS, L. Remote sensing and landslide hazard assessment. *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing*, v. 57, n. 9, p. 1185 – 1193, 1991.

MEHROTRA, G.; KANUNGO, D.; MAHADEVIAH, K. Landslide hazard assessment—a need for environmental management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 7., 1996. Trondheim, Norway. *Proceedings...* Norway. 1996, pp. 315– 320.

MELGAÇO, L. M.; SOUZA FILHO, C. R.; STEINMAYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 1215-1220.

MILIAREISIS, G. C.; PARASCHOU; C.V.E. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. v. 7, p. 49–59, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. O Estudo Geográfico do Clima. *Cadernos Geográficos do Dep. de Geociências - UFSC*, n. 1, p. 07-36, 1999.

MOREIRA, M. L. O.; COSTA, H. F.; MEDEIROS, L. C. Integração de dados multifontes para mapeamentos temáticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 2725-2732.

MOREIRAS, S.M. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology*, v. 66, p. 345–357, 2005.

NAGARAJAN, R.; MUKHERJEE, A.; ROY, A.; KHIRE, M. Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western Ghat, India. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 4, p. 573– 585, 1998.

NAKAZAWA, V.A.; PRANDINI, F.L.; SANTOS, A.R.; FREITAS, C.G.L. Cartografia Geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991. São Paulo. *Atas...* São Paulo: SBG, 1991. p.329-336.

NASCIMENTO, M. A Importância da Posição Geográfica na Evolução Urbana de Paraty/RJ. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NEWERLA, V. B. Deslizamentos:um mal inevitável?. *Ciência & Ensino*, n. 6, p. 13-17, 1989.

NIKOLAKOPOULOS, K.G.; KAMARATAKIS, E.K.; CHRYSOULAKIS, N. SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, n. 21, p. 4819-4838, 2006.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

NÓBREGA, R. A. A.; SANTOS, C.; CINTRA, J. P. Comparação quantitativa e qualitativa entre o Modelo Digital gerado pelo SRTM e por aerofotogrametria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 4437-4444.

PACHAURI, A.K.; PANT, M. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, v. 32, p. 81– 100, 1992.

PACHAURI, A.K.; GUPTA, P.V.; CHANDER, R. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology*, v. 36, p. 325–334, 1998.

PANIKKAR, S. V.; SUBRAMANYAN, V. A geomorphic evaluation of the landslides around Dehradun and Mussoorie, Uttar Pradesh, India. *Geomorphology*, v. 15, p. 169-181, 1996.

PARISE, M.; RANDALL, W.J. A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994 Northridge, California earthquake. *Engineering Geology*, v. 58, p. 251-270, 2000.

PASSARELLA, S. M. ; MACHADO, F. B. Avaliação da relação entre escorregamentos e condicionantes das feições geomorfológicas no entorno do município de Cubatão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 2971-2977.

PAZ, S. R.; ALVES, R. C. M.; ROLIM, S. B. A. Validação de modelos digitais de terreno do sensor Aster no estudo da dispersão de poluentes na região de Candiota. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ... Goiânia: INPE*, 2005. p. 3229-3236.

PEDROSA, M.G.A.; SOAREA, M.M.; LACERDA, W.A. Mechanism of movement in colluvial slopes in Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 05., 1988. *Balkema, Lausanne. Proceedings... Balkema*, 1988. p.1211-1216.

Perotto-Baldiviezo, H.L.; Thurow, T.L.; Smith, C.T.; Fisher, R.F.; Wu, X.B. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, p. 165-176, 2004.

PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, Cartas Topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. Comparative analysis of elevation data from Shuttle Radar Topography Mission and Topographic map with GPS: a steep slope test site. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 58/01, p. 09, 2006.

PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in Serra do Mar, Brazil. *Catena*, v. 6, p. 111-122, 1979.

PRADHAN, B.; SINGH, R.P.; BUCHROITHNER, M.F. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. *Advances in Space Research*, v. 37, p. 698-709, 2006.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G. L. ; DINIZ, N. C. Cartografia Geotécnica nos Planos Diretores Regionais e Municipais. In: coordenação geral Omar Yazbek Bitar. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. p.187-202.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, v. 53, p. 241 – 262, 2003.

RANDALL, W. J.; EDWIN, L. H.; JOHN, A. M. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, v. 58, p. 271–289, 2000.

RAUTELA, P.; LAKHERA, R. C. Landslide risk analysis between Giri and Tons Rivers in Himachal Himalaya (India). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 2, p. 153–160, 2000.

REFICE, A.; CAPOLONGO, D. Probabilistic modeling of uncertainties in earthquake-induced landslide hazard assessment. *Computers and Geosciences*, v. 28, p. 735–749, 2002.

REIS, R. B.; MEDEIROS, D. R.; LOPES, M.; CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. O uso de produtos de Sensoriamento Remoto gratuitos na representação do Relevo – um potencial para a educação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 1337-1344.

RENEAU, S. L.; DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; ROGER, J. D. Colluvial deposits and associated landslide in the northern San Francisco Bay area, California, USA. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 4., 1984. Toronto. *Proceedings...* Toronto, 1984. P. 425-430.

RIBEIRO FILHO, J. R.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B. Aplicação do Modelo Digital De Elevação do SRTM na geração de mapas fisiográficos do relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 3057-3064.

RIEDEL, P. S.; GOMES, A. R.; BENTZ, C. M.; VIDOTTI, M. F.; LIESENBERG, V. Integração de técnicas de processamento digital de imagens e análise espacial na identificação de cicatrizes de escorregamentos na região de Cubatão-Serra do mar Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 4393-4400.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 4209-4216.

ROSSI, M.; PFEIFER, R. M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). *Solos*, v.58, n. 1, p. 141-156, 1999.

ROWBOTHAM, D.N.; DUDYCHA, D. GIS modelling of slope stability in Phewa Tal watershed, Nepal. *Geomorphology*, v. 26, p. 151–170, 1998.

SANTOS, A. R. Geologia de Engenharia: Conceitos, método e prática . São Paulo: IPT/ABGE, 2002. 222 p. (IPT; 2797),

SANTOS, A. R. Diálogos Geológicos: é preciso conversar mais com a Terra. São Paulo: Ed. O Nome da Rosa, 2008. 184 p.

SANTOS, R. L. ; ARAÚJO, W. T.; ASSUNÇÃO, V. S. As técnicas de análise geomorfológica aplicada À determinação de unidades ambientais em imagens de satélite (Landsat TM 5): o caso de Itabuna (Bahia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, 2003. p. 8.

SESTINI, M. F. Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM – LANDSAT e SIG. 2000. 140f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE), São José do Campos, 2000.

SESTINI, M. F.; FLORENZANO, T. G. Caracterização de Cicatrizes de Deslizamentos por Processamento de Dados TM Landsat em Caraguatatuba - SP. *Revista do Instituto de Geociências - USP, Geologia USP Série Científica*, v. 4, n. 2, p. 57-69, 2004.

SHARPE, C. F. S. Landslides and related phenomena. New York: Columbia University press, 1938. 137p.

SILVA, J. E. B.; SANTOS, P. R. A. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ...* Florianópolis : INPE, 2007. p. 4261-4266.

SIMÕES, L. B.; CARDOSO, L. G. Uso do SIG-IDRISI no planejamento regional em Botucatu/SP. In: ORTEGA, E. (Org.). Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. 1ª ed. Campinas: FEA/UNICAMP, 2004. v. 1, p. 1-9.

SINGHROY, V. SAR integrated techniques for geohazard assessment. *Advances in Space Research*, v. 15, n. 11, p. 67-78, 1995.

SINGHROY, V.; MATTAR, K.; GRAY, A. Landslide characterisation in Canada using interferometric SAR and combined SAR and TM images. *Advances in Space Research*, v. 21, n. 3, p. 465– 476, 1998.

SOARES, E. P. Caracterização da precipitação na região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de deslizamentos de encostas. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOARES, F.S.; FRANCISCO, C.N.; CARVALHO, C.N. Análise dos fatores que influenciam a distribuição espacial da precipitação no litoral sul fluminense, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. *Anais ...* Goiânia: INPE, 2005. p. 3365 -3370.

SOARES, P. C.; SOARES, A. P.; FIORI, A. P. Raciocínio probabilístico aplicado à suscetibilidade de escorregamentos: Um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 51, p. 59-76, 2002.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. Slope instability, recognition, analysis and zonation. In: A. Turner, & R. Schuster (Eds.). *Landslides: Investigation and mitigation*. Special Report. Washington DC: National Academy Press, 1996. v. 247, p. 129–177.

SOUZA FILHO, C. R. O Relevo das Américas como nunca antes visto. *InfoGeo*, n. 30, p.54-58, 2003.

STEINMAYER, M. Extração de Modelos Digitais de Terreno com o sensor ASTER. *InfoGeo*, v. 30, p. 38-39, 2003.

SUN, G.; RANSON, K.J.; KHARUK, V.I.; KOVACS, K. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*, v. 88, p. 401–411, 2003.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E.; ROCHA, M.C.M. Modelado numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas na Serra do Mar no município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1987. p. 237-248.

THOMAS, J. A.; BUENO, L. S.; LAPOLLI, É. M.

A Utilização do Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento na Classificação de Áreas Urbanas, Joaçaba-SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu. *Anais ...* Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1183-1190.

TORRES, T. G.; PARANHOS FILHO, A. C.; TERUYA JUNIOR, H.; CORRÊA, L. C.; GARCEZ, A. J. S.; COPATTI, A. Utilização dos dados SRTM na geração dos limites da bacia hidrográfica do rio Formoso (Bonito, MS). In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006. Campo Grande. *Anais ...* Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p.145-154.

TRALLI, D. M.; BLOM, R. G.; ZLOTNICKI, V.; DONNELLAN, A.; EVANS, D. L. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 59, p. 185-198, 2005.

TURRINI, M.C.; VISINTAINER, P. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. *Engineering Geology*, v. 50, p. 255–265, 1998.

VALENTE, A. L. S. Uma Metodologia para determinação de Áreas de Risco, através de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996. v. *Anais ...* Salvador: INPE, 1996. p. 417-420.

VALERIANO, M. M. Modelo Digital de Elevação com dados SRTM para América do Sul. São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p.

VAN WESTEN, C.; GETAHUN, F. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Geomorphology*, v. 54, p. 77– 89, 2003.

VAN WESTEN, C.; RENGERS, N.; TERLIEN, M.; SOETERS, R. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*, v. 86, p. 404–414, 1997.

VAN ZYL, J.J. The shuttle radar topography mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronautica*, v. 48, n. 5 – 12, p. 559-564, 2001.

VETTORAZZI, C. A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. *Série Técnica IPEF*, v.10, n.29, p. 45 – 51, 1996.

Vieira, R.; Vibrans, A.C.; Refosco, J.C.; Pinheiro, A.; Xavier, F.F. Mapeamento das áreas suscetíveis a escorregamentos em Blumenau-SC, utilizando Sistema de Informações Geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 3211-3218.

VIEIRA, R. FURTADO, S. M. A. Caracterização dos aspectos físico-naturais intrínsecos da encosta e identificação das áreas suscetíveis a deslizamentos na sub-bacia do Ribeirão Araranguá-Blumenau/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : GEDN/UFSC*, 2004. p.337-351.

WASOWSKI, J.; SINGHROY, V. Special issue from the symposium on remote sensing and monitoring of landslides. Preface. *Engineering Geology*, v. 68, p. 1-2, 2003.

WEIRICH, F.; BLESIOUS, L. Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology*, v. 87, p. 352-364, 2007.

WOLLE, C.M. Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas. 1988. 394 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WOLLE, C. M. Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança. 1980. 345f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZALOTI JUNIOR, O. D.; FREITAS, C. C.; SANT'ANNA, S. J. S.; ANDRADE, R. A. M. Avaliação do Modelo Digital do Terreno extraído de Dados do SRTM – Uma Abordagem Baseada na Declividade, Aspecto e Uso/Cobertura do Solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. *Anais ... Florianópolis : INPE*, 2007. p. 5043-5050.

ZHOU, C.; LEE, C.; LI, J.; XU, Z. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, v. 43, p. 197–207, 2002.

ZOLFAGHARI, A.; HEATH, A.C. A GIS application for assessing landslide hazard over a large area. *Computers and Geotechnics*, v.35, n. 2, p. 278-285, 2008.

ANEXO 1

Chave de classificação

D	pesos	D	pesos	C	pesos	D.E.	pesos	U.S.	pesos	L	pesos	somatóri o	Classe
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	1u	10	11	10	60	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	1u	10	21	20	70	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	1u	10	31	30	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	2u	20	11	10	70	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	2u	20	21	20	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	2u	20	31	30	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	3u	30	11	10	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	3u	30	21	20	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	1e	10	3u	30	31	30	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	1u	10	11	10	70	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	1u	10	21	20	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	1u	10	31	30	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	2u	20	11	10	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	2u	20	21	20	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	2u	20	31	30	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	3u	30	11	10	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	3u	30	21	20	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	2e	20	3u	30	31	30	110	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	1u	10	11	10	80	B
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	1u	10	21	20	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	1u	10	31	30	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	2u	20	11	10	90	B
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	2u	20	21	20	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	2u	20	31	30	110	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	3u	30	11	10	100	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	3u	30	21	20	110	M
1d	10	1d	10	1c	10	3e	30	3u	30	31	30	120	M
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	1u	10	11	10	70	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	1u	10	21	20	80	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	1u	10	31	30	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	2u	20	11	10	80	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	2u	20	21	20	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	2u	20	31	30	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	3u	30	11	10	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	3u	30	21	20	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	1e	10	3u	30	31	30	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	1u	10	11	10	80	B
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	1u	10	21	20	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	1u	10	31	30	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	2u	20	11	10	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	2u	20	21	20	100	M

1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	2u	20	3l	30	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	3u	30	1l	10	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	3u	30	2l	20	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	2e	20	3u	30	3l	30	120	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	1u	10	1l	10	90	B
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	1u	10	2l	20	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	1u	10	3l	30	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	2u	20	1l	10	100	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	2u	20	2l	20	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	2u	20	3l	30	120	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	3u	30	1l	10	110	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	3u	30	2l	20	120	M
1d	10	1d	10	2c	20	3e	30	3u	30	3l	30	130	A
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	1u	10	1l	10	80	B
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	1u	10	2l	20	90	B
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	1u	10	3l	30	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	2u	20	1l	10	90	B
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	2u	20	2l	20	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	2u	20	3l	30	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	3u	30	1l	10	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	3u	30	2l	20	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	1e	10	3u	30	3l	30	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	1u	10	1l	10	90	B
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	1u	10	2l	20	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	1u	10	3l	30	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	2u	20	1l	10	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	2u	20	2l	20	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	2u	20	3l	30	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	3u	30	1l	10	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	3u	30	2l	20	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	2e	20	3u	30	3l	30	130	A
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	1u	10	1l	10	100	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	1u	10	2l	20	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	1u	10	3l	30	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	2u	20	1l	10	110	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	2u	20	2l	20	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	2u	20	3l	30	130	A
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	3u	30	1l	10	120	M
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	3u	30	2l	20	130	A
1d	10	1d	10	3c	30	3e	30	3u	30	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	1u	10	1l	10	80	B
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	1u	10	2l	20	90	B
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	1u	10	3l	30	100	B
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	2u	20	1l	10	90	B
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	2u	20	2l	20	100	B
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	2u	20	3l	30	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	3u	30	1l	10	100	B

2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	3u	30	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	1e	10	3u	30	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	1u	10	1l	10	90	B
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	1u	10	2l	20	100	B
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	1u	10	3l	30	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	2u	20	1l	10	100	B
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	2u	20	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	2u	20	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	3u	30	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	3u	30	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	2e	20	3u	30	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	1u	10	1l	10	100	B
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	1u	10	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	1u	10	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	2u	20	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	2u	20	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	2u	20	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	3u	30	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	3u	30	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	1c	10	3e	30	3u	30	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	1u	10	1l	10	90	B
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	1u	10	2l	20	100	B
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	1u	10	3l	30	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	2u	20	1l	10	100	B
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	2u	20	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	2u	20	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	3u	30	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	3u	30	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	1e	10	3u	30	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	1u	10	1l	10	100	B
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	1u	10	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	1u	10	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	2u	20	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	2u	20	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	2u	20	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	3u	30	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	3u	30	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	2e	20	3u	30	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	1u	10	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	1u	10	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	1u	10	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	2u	20	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	2u	20	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	2u	20	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	3u	30	1l	10	130	M
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	3u	30	2l	20	140	A
2d	20	2d	20	2c	20	3e	30	3u	30	3l	30	150	A

2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	1u	10	1l	10	100	B
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	1u	10	2l	20	110	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	1u	10	3l	30	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	2u	20	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	2u	20	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	2u	20	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	3u	30	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	3u	30	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	1e	10	3u	30	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	1u	10	1l	10	110	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	1u	10	2l	20	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	1u	10	3l	30	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	2u	20	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	2u	20	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	2u	20	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	3u	30	1l	10	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	3u	30	2l	20	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	2e	20	3u	30	3l	30	150	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	1u	10	1l	10	120	M
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	1u	10	2l	20	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	1u	10	3l	30	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	2u	20	1l	10	130	M
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	2u	20	2l	20	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	2u	20	3l	30	150	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	3u	30	1l	10	140	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	3u	30	2l	20	150	A
2d	20	2d	20	3c	30	3e	30	3u	30	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	1u	10	1l	10	100	B
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	1u	10	2l	20	110	B
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	1u	10	3l	30	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	2u	20	1l	10	110	B
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	2u	20	2l	20	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	2u	20	3l	30	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	3u	30	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	3u	30	2l	20	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	1e	10	3u	30	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	1u	10	1l	10	110	B
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	1u	10	2l	20	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	1u	10	3l	30	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	2u	20	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	2u	20	2l	20	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	2u	20	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	3u	30	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	3u	30	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	2e	20	3u	30	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	1u	10	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	1u	10	2l	20	130	M

3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	1u	10	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	2u	20	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	2u	20	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	2u	20	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	3u	30	1l	10	140	M
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	3u	30	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	1c	10	3e	30	3u	30	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	1u	10	1l	10	110	B
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	1u	10	2l	20	120	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	1u	10	3l	30	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	2u	20	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	2u	20	2l	20	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	2u	20	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	3u	30	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	3u	30	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	1e	10	3u	30	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	1u	10	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	1u	10	2l	20	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	1u	10	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	2u	20	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	2u	20	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	2u	20	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	3u	30	1l	10	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	3u	30	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	2e	20	3u	30	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	1u	10	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	1u	10	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	1u	10	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	2u	20	1l	10	140	M
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	2u	20	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	2u	20	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	3u	30	1l	10	150	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	3u	30	2l	20	160	A
3d	30	3d	30	2c	20	3e	30	3u	30	3l	30	170	A
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	1u	10	1l	10	120	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	1u	10	2l	20	130	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	1u	10	3l	30	140	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	2u	20	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	2u	20	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	2u	20	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	3u	30	1l	10	140	M
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	3u	30	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	1e	10	3u	30	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	1u	10	1l	10	130	M
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	1u	10	2l	20	140	M
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	1u	10	3l	30	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	2u	20	1l	10	140	M

3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	2u	20	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	2u	20	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	3u	30	1l	10	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	3u	30	2l	20	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	2e	20	3u	30	3l	30	170	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	1u	10	1l	10	140	M
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	1u	10	2l	20	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	1u	10	3l	30	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	2u	20	1l	10	150	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	2u	20	2l	20	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	2u	20	3l	30	170	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	3u	30	1l	10	160	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	3u	30	2l	20	170	A
3d	30	3d	30	3c	30	3e	30	3u	30	3l	30	180	A

D – Declividade (peso 2) / C – Curvatura de encosta/ D.E. – Descontinuidades estruturais/ U.S. – Uso e cobertura do solo/ L – Litologia.

1d – peso 10 (baixa suscetibilidade a escorregamentos) - declividade de 0° a 20°./ 2d – peso 20 (média suscetibilidade a escorregamentos) - declividade de 20° a 30°./ 3d - peso 30 (alta suscetibilidade a escorregamentos) - declividades acima de 30°.

1c – peso 10 (baixa suscetibilidade a escorregamentos) - encostas retilíneas./ 2c – peso 20 (média suscetibilidade a escorregamentos) - encostas convexas./ 3c - peso 30 (alta suscetibilidade a escorregamentos) - encostas côncavas.

1e – peso 10 (baixa suscetibilidade a escorregamentos) - áreas sem estruturas./ 2e – peso 20 (média suscetibilidade a escorregamentos) - áreas com apenas 1 (uma) estrutura./ 3e - peso 30 (alta suscetibilidade a escorregamentos) - muito estruturadas e com cruzamento de estruturas.

1u – peso 10 (baixo impacto na ocorrência de escorregamentos) - Vegetação densa, manguezais e praias e costões rochosos./ 2u – peso 20 (médio impacto na ocorrência de escorregamentos) - Vegetação em recuperação, desmatamento sem ocupação humana, ocupação humana./ 3u- peso 30 (alto impacto na ocorrência de escorregamentos) - Estradas.

11 – peso 10 (baixa probabilidade a ocorrência de escorregamentos) - Mangues, Aluviões, Sedimentos flúvio-marinhos e cordões marinhos./ 21 – peso 20 (média probabilidade de ocorrência de escorregamentos) - Granitos Mambucaba, Carrasquinho e Paraty Mirim./ 31 - peso 30 (alta probabilidade a ocorrência de escorregamentos) - Gnaisses, xistos e gnaisses xistosos, colúvios aluvionares, granitos e sua variação granito serra da bocaina.

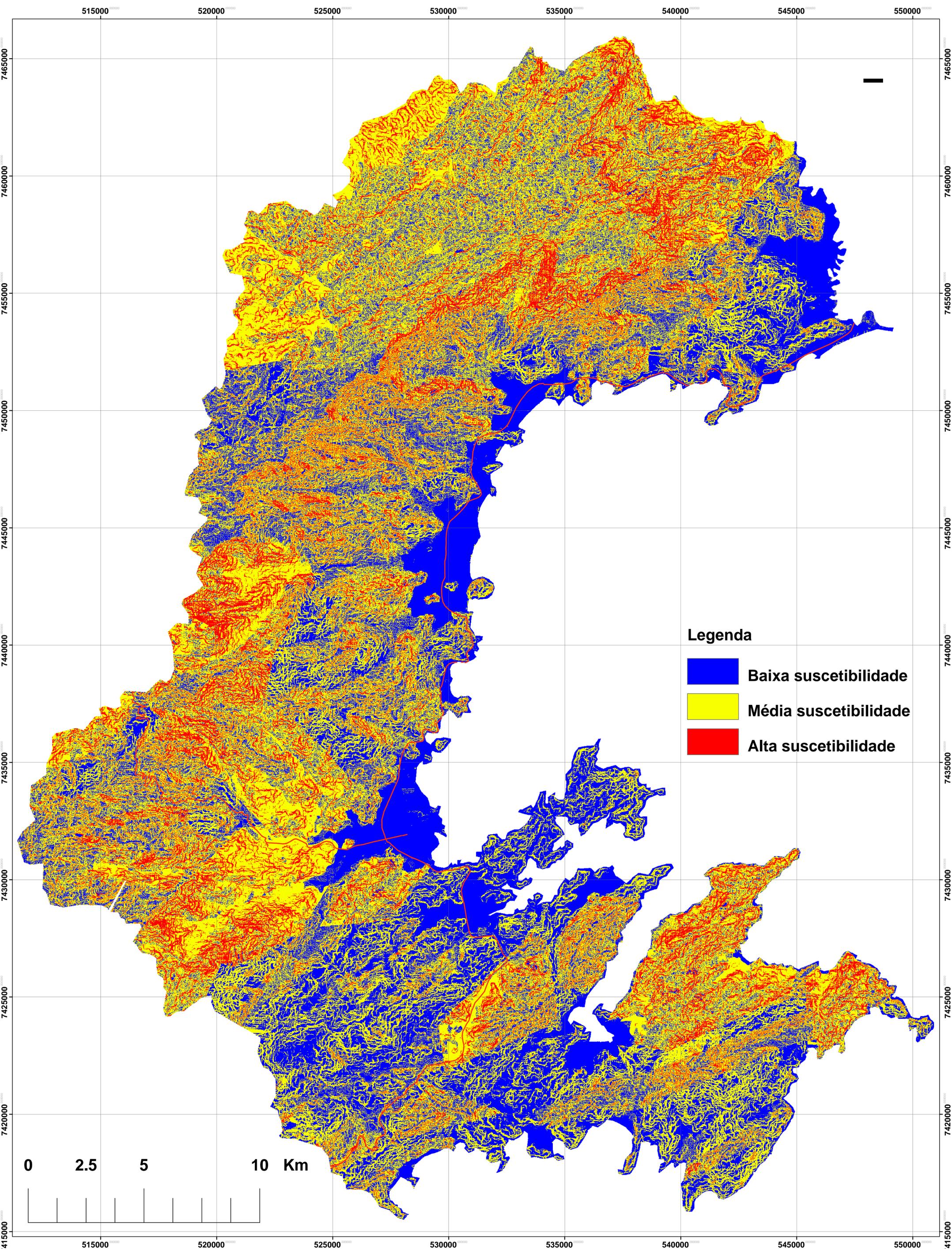
Somatório = D+D+C+D.E.+U.S.+G

B – Classe de Baixa suscetibilidade a escorregamentos

M – Classe de Média suscetibilidade a escorregamentos

A – Classe de Alta suscetibilidade a escorregamentos

Carta de suscetibilidade a escorregamentos do ano de 2008
(Município de Paraty/RJ)



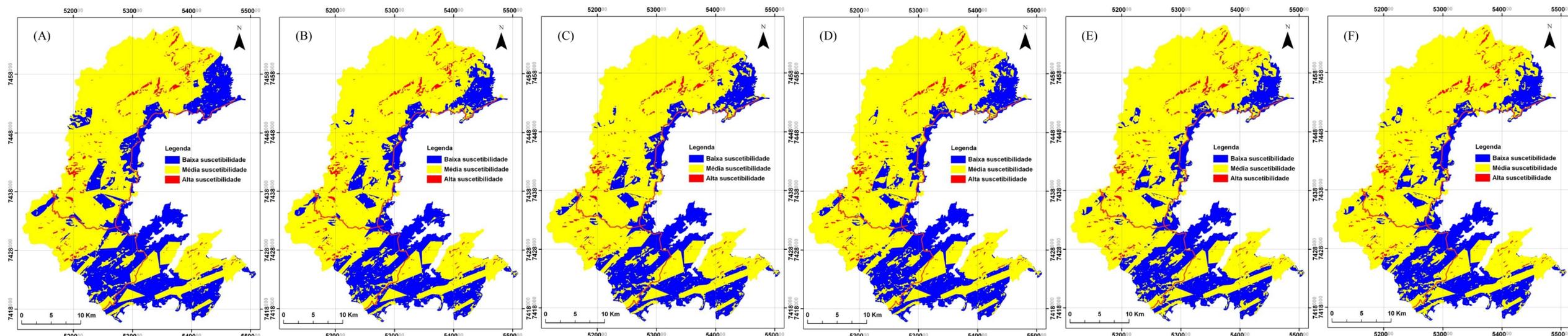


Figura 28 - Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE SRTM 30. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008

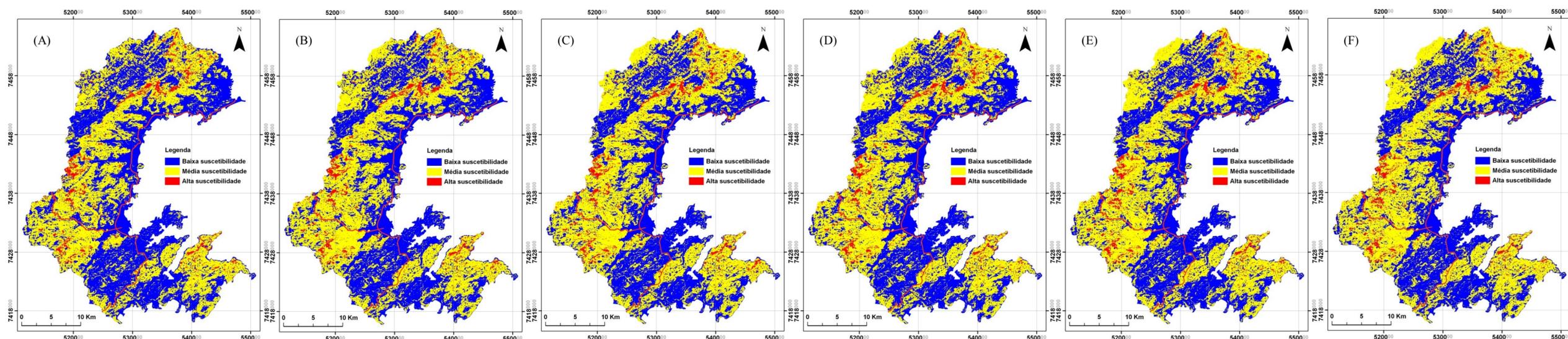


Figura 29 - Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE ASTER 30. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008

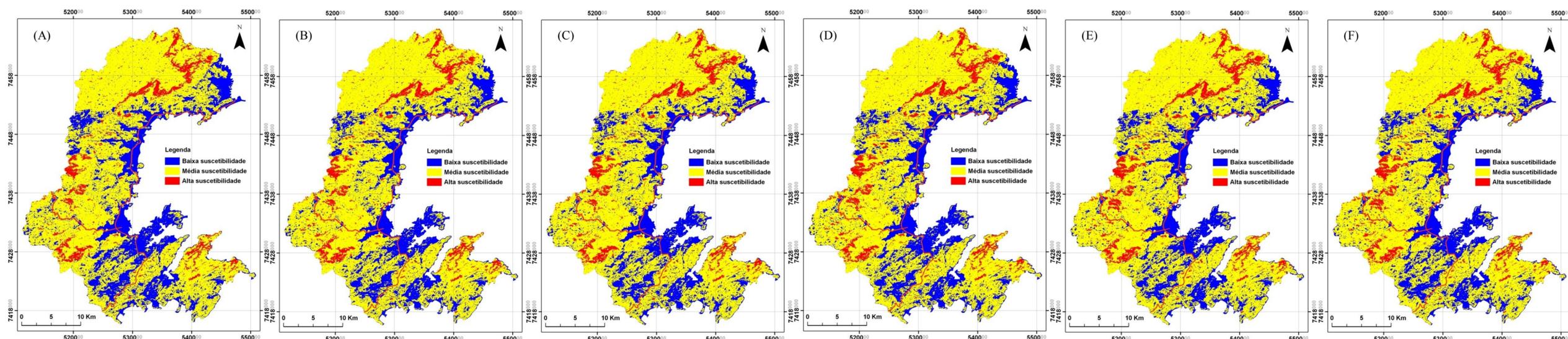


Figura 30- Cartas de suscetibilidade geradas a partir do MDE ASTER 15. (A) 1973, (B) 1986, (C) 1993, (D) 2000, (E) 2007 e (F) 2008