

Análise da evolução da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Paraty, RJ, baseada em dados de sensoriamento remoto óptico multitemporal e dados de campo.

Orjana Carvalho Alcantara Silva¹;
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹;
Alessandra Cristina Corsi²;
Agostinho Tadashi Ogura².

¹ Universidade de São Paulo - USP/Instituto de Geociências
Rua do Lago 562- 05508-080 – São Paulo - SP, Brasil
morganaocn@yahoo.com.br; talmeida@usp.br

² Instituto De Pesquisas Tecnológicas - IPT.
Av. Prof. Almeida Prado 532 – 05508-901 – São Paulo – SP, Brasil
accorsi@ipt.br, atogura@ipt.br

Abstract. The process of clearing the dense forests in Serra do Mar escarpments in the Paraty region can add more instability to the natural landslides susceptibility of the municipality. Aiming to provide instruments and alert the government, is presented here an evolution of Landslides Susceptibility Maps of the years 1973, 1986, 1993 and 2008. The methodology used was based on the IPT's methodology, combining in GIS environment, landslide-related factors as slope, aspect, curvature, geology, geologic structures and land use. For the 1973 scenario, the municipality area was divided in 43.72% of low susceptibility, 46.85% of medium susceptibility and 9.43% of the high susceptibility areas. At 1986, 40.37%, 49.54% and 10.09% was occupied by low, medium and high susceptibility respectively and at 1993, 40.05%, 49.69% and 10.26% respectively. Finally, the 2008 scenario shows 39.16% for the low susceptibility area, 50.18% for the medium and 10.66% for the high susceptibility. Since 1973, with the opening of Rio-Santos highway (BR-101), there is a continuous shrinkage of low susceptibility areas and a growth of middle and high susceptibility landslides areas. The forested areas have declined in all susceptibility classes, while the human occupation has been growing within them. Currently the landslides risk is not a serious problem, except in the vicinity of roads and access routes, which can be found scars from old and recent landslides. But with the non-planning human occupation expansion the situation may evolve dangerously. This paper is like a warning to local government.

Palavras-chave: landslides susceptibility, Paraty, suscetibilidade a escorregamentos, Paraty.

1. Introdução

O município de Paraty, localizado na região costeira do extremo sul do Estado do Rio de Janeiro, participou ativamente do ciclo do café. Porém a abertura de vias mais rápidas e seguras fez com que em 1864 Paraty entrasse em seu maior período de crise agravada pela abolição da escravidão em 1888, que levou a total estagnação da região e iniciou um êxodo populacional. Foi redescoberto em torno de 1948 quando a cidade recebe o título de Patrimônio Estadual e é tombada pelo Patrimônio Histórico e Artístico nacional em 1958, passando a Monumento Nacional em 1966 (Nascimento, 2004). Seu ciclo turístico trouxe consigo a reinserção no eixo Rio-São Paulo com a abertura do trecho Rio-Santos da BR-101 na primeira metade da década de 1970, trazendo prosperidade econômica e demográfica juntamente com a especulação imobiliária e destruição de ambientes naturais (Brasil, 2000). Assim após quase 100 anos de isolamento e esquecimento Paraty ressurge com uma população de 9.360 habitantes em 1950 passando para 15.934 em 1970 e chegando a 29.544 em 2000 (Nascimento, 2004) e contando atualmente com 32.838 habitantes segundo os dados do IBGE (2007).

O município é caracterizado por suas extensas áreas de Mata Atlântica preservada, que vem sofrendo desmatamento contínuo, e pelas escarpas da Serra do Mar. A evolução natural do relevo nestas escarpas, de acordo com Araújo (2004), se dá principalmente pela ocorrência

de movimentos de massa, sendo os escorregamentos os principais processos ligados à dinâmica externa. Esses escorregamentos tendem a ocorrer naturalmente nas médias e altas declividades mesmo em vertentes desocupadas (Lopes et al. 2007), mas a ação do homem pode induzi-los (Araújo, 2004), principalmente quando desrespeita as limitações naturais dos terrenos e quando a expansão passa a se encaminhar para a ocupação das encostas íngremes que, mesmo florestadas, podem apresentar escorregamentos (Couto et al. 2005).

Nas últimas décadas, as regiões urbanas instaladas nas áreas montanhosas têm sido mais intensamente afetadas por movimentos de massa ao longo das encostas (Dias e Herrmann, 2002), ao mesmo tempo em que o sensoriamento remoto vem se tornando uma importante fonte de informações para a produção de novos mapas, ajudando na caracterização do uso e ocupação do solo e do relevo com baixo custo e elevada periodicidade de informações (Lopes, 2006). Atualmente, existem modelos digitais de elevação, importantes ferramentas disponíveis para auxiliar na produção de mapas referentes ao relevo terrestre a fim de facilitar a geração de cartas geotécnicas.

O município faz divisa, ao norte, com o município de Angra dos Reis e ao sul e oeste com Ubatuba e Cunha, municípios do Estado de São Paulo (Figura 1) municípios fisiograficamente semelhantes e que apresentam inúmeros relatos de acidentes geotécnicos. A expansão urbana e rural, vem desmatando as escarpas da Serra do Mar, podendo somar mais um fator de instabilidade aos condicionantes naturais dos terrenos como a geologia, declividade, forma e orientação das encostas, tipo de vegetação entre outros.

Até hoje, apenas um estudo foi realizado sobre a susceptibilidade a movimentos de massa no município de Paraty com resultados parciais desta pesquisa (Silva et al. 2008) e não foram encontrados registros oficiais destes acidentes que, entretanto, são relatados pelos moradores locais, cicatrizes recentes e antigas podem ser encontradas. Assim objetivando aprimorar a carta de suscetibilidade a escorregamentos do município, apresentado em Silva et al. (2008) com a utilização do MDE gerado pelo sensor ASTER do satélite TERRA bem como sua evolução temporal em função do uso e cobertura do solo. As cartas são compostas pela combinação de vários mapas temáticos dos fatores condicionantes e considera a suscetibilidade como a possibilidade espacial de ocorrer um determinado fenômeno em uma dada área com base nos fatores condicionantes do terreno, independente do período de recorrência (Zêzere, 2004).

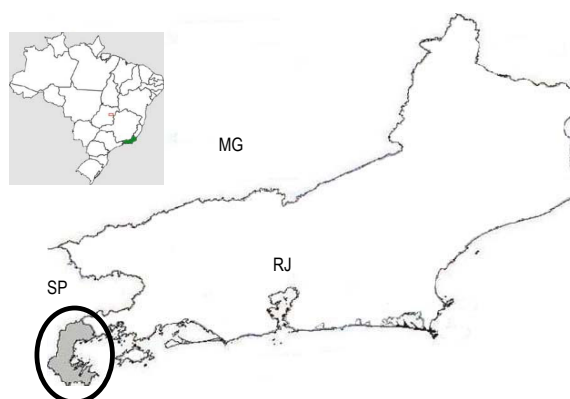


Figura 1. Mapa de localização do município de Paraty - RJ

2. Materiais e Métodos

Foram utilizados produtos de sensoriamento remoto óptico e da literatura bem como efetuados sobrevôos em helicóptero, visualização da costa a partir de embarcação e de encostas das principais vias de acesso em duas etapas de trabalhos de campo.

Os *softwares* ENVI 4.3 e ARCGIS 9.2 permitiram o processamento das imagens de sensoriamento remoto e o cruzamento de informações de origens diversas.

O mapa geológico foi digitalizado do Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina (Brasil, 2000) no programa ENVI 4.3 e convertido em *shapefile* para leitura e correções no ArcMap.

O MDE/ASTER foi gerado com resolução de 30 metros, a partir de bandas com resolução de 15 metros, no programa ENVI 4.3 através da ferramenta ASTERDTM, através do qual foram geradas as cartas de declividade, curvatura de encostas e orientação de vertentes. Esta última foi cruzada, em ambiente ArcMap, com o mapa de discontinuidades estruturais (falhas, fraturas, foliação) gerado a partir da interpretação visual da banda ETM+4 da imagem do satélite Landsat 7 de 26 de Junho de 2000, visando 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.

Os mapas de uso do solo foram gerados a partir da interpretação visual de 4 imagens de sensoriamento remoto óptico, dentre elas uma imagem do satélite Landsat 1 sensor MSS de 11/07/1973, Landsat 5 sensor TM de 16 de Setembro de 16/09/1986 e 15/06/1993, e do satélite TERRA sensor ASTER de 10/04/2008. Foram consideradas 7 classes de uso e cobertura do solo, respectivamente ocupação humana rural e urbana, desmatamento sem ocupação, rocha exposta, estradas, praias e costões rochosos, vegetação natural e vegetação em recuperação.

Todos os produtos gerados foram reclassificados de acordo com a possibilidade do mesmo interferir no processo de escorregamento.

Para compor a Carta de Suscetibilidade a escorregamentos os Planos de Informação (PIs) foram cruzados através da utilização da ferramenta raster calculator, onde foram somados, tendo a declividade peso dois e um os demais PIs. Uma chave de classificação foi criada com três classes de suscetibilidade a escorregamentos, baixa, média e alta.

Foi gerada uma carta de suscetibilidade a escorregamentos para cada uma das quatro datas avaliadas a fim de caracterizar a influência da evolução do uso e ocupação do solo na variação da suscetibilidade, em questão, no município de Paraty .

3. Resultados e Discussão

A carta de declividade foi classificada em classes de **baixa** (entre 0° e 20°), **média** (de 20° a 30°) e alta suscetibilidade (superior a 30°) totalizando respectivamente 57,71%, 22,52% e 19,77% da área do município (Figura 2).

A curvatura de encostas foi dividida em côncava, convexa e retilínea tendo respectivamente alta (22,24%), média (22,78%) e baixa (54,98%) suscetibilidade a escorregamentos (Figura 3) (Fernandes et al. 2001).

A carta de orientação de vertentes foi cruzada com o mapa de discontinuidades estruturais (falhas, fraturas, foliação), foram consideradas de baixa suscetibilidade áreas sem estruturas e sem foliação observada; com média suscetibilidade as áreas com poucas estruturas e alta as muito estruturadas e com cruzamento de estruturas (Figura 4).

Foram consideradas litologias pouco suscetíveis a escorregamentos as coberturas sedimentares, medianamente suscetíveis os granitos Parati Mirim e Mambucaba (isotrópicos) e altamente suscetíveis os granitos sem identificação, Serra da Bocaina, Carrasquinho (todos com maior ou menor grau de foliação), os gnaisses, xistos e gnaisses xistosos e os sedimentos coluvio-aluvionares (Figura 5).

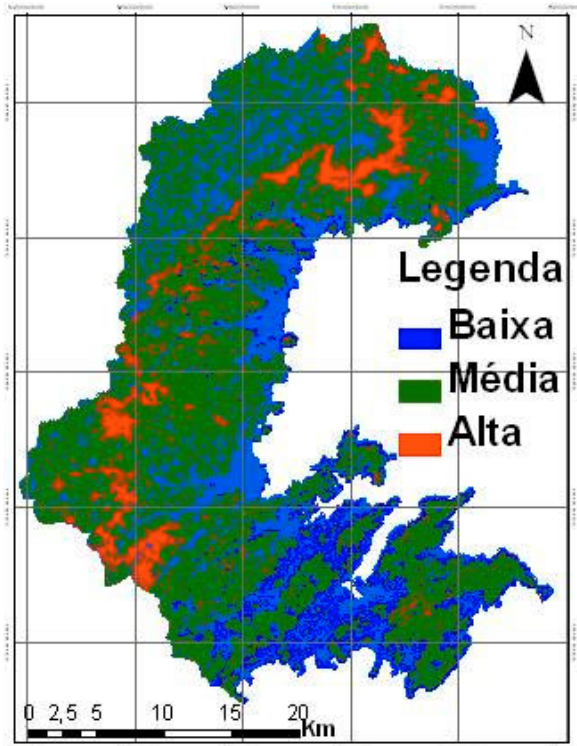


Figura 2. Carta de declividade de encostas do município de Paraty (MDE/ASTER)

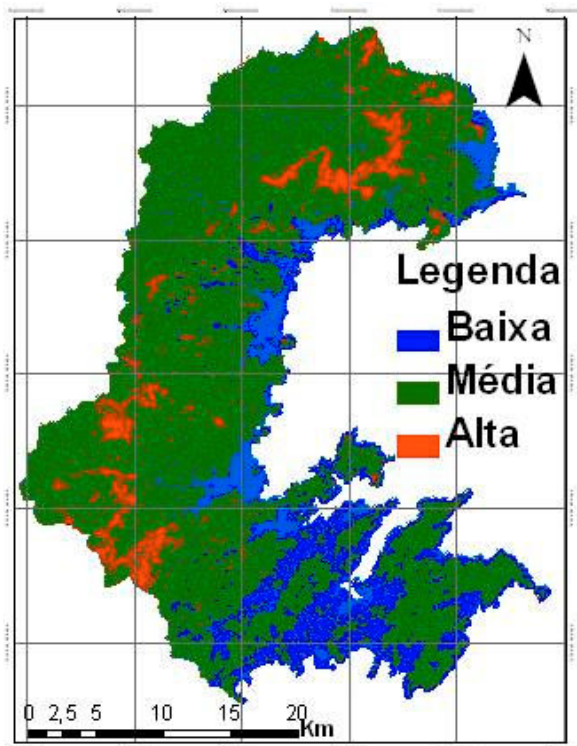


Figura 3. Carta de curvatura de encostas do município de Paraty (MDE/ASTER)

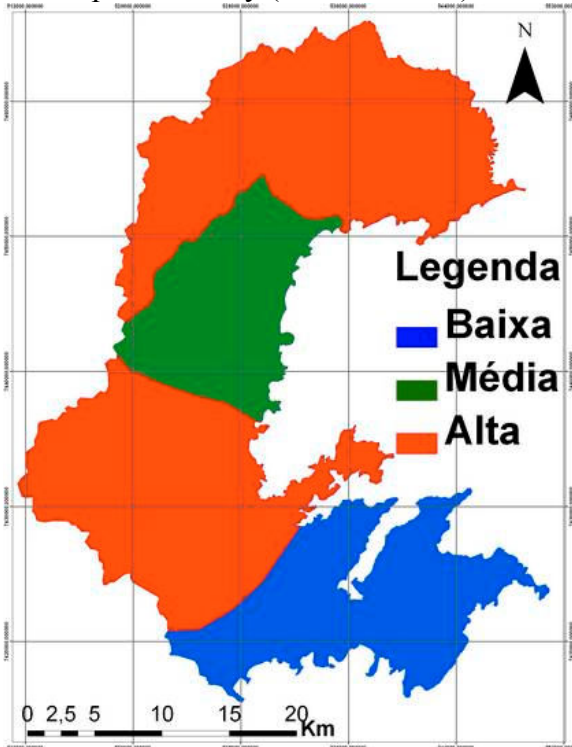


Figura 4. Mapa do cruzamento da carta de orientação de vertentes e mapa de descontinuidades estruturais do município de Paraty.

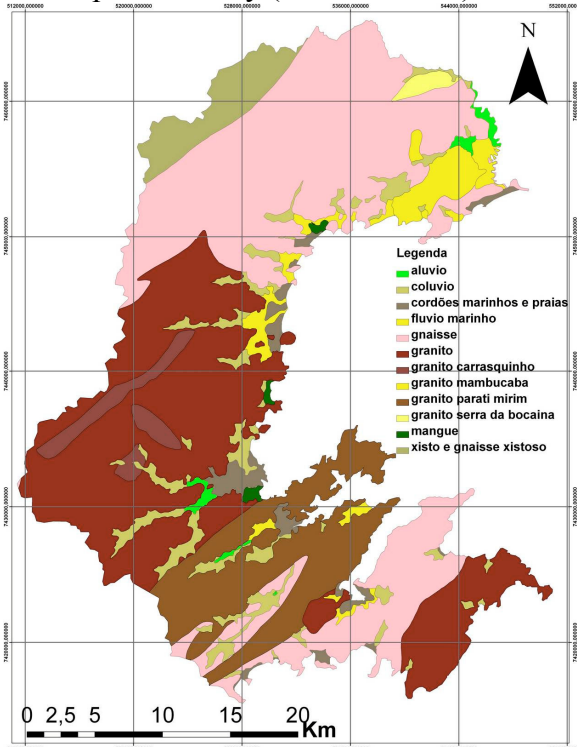


Figura 5. Mapa litológico do município de Paraty (Brasil, 2000).

Para os mapas de uso do solo, foi atribuído o conceito de baixo impacto na suscetibilidade da região para as classe praias e costões rochosos e vegetação natural; média suscetibilidade para as classes ocupação humana rural e urbana, desmatamento sem ocupação, rocha exposta e vegetação em recuperação e alta para a classe estradas, consideradas com alto potencial de impacto. Essa classificação foi baseada nos trabalhos de campo, onde não se observou ocupação significativa de encostas em áreas de média e alta declividades, que quando ocupadas o são por uso agrícola e pecuário, sem interferência no relevo mas com retirada da vegetação natural o que foi considerado como uma interferência de média impacto na suscetibilidade dos terrenos da região.

Com a aplicação do método as cartas geradas mostram que no ano de 1973 a área do município se dividia em 43,72% de áreas de baixa suscetibilidade, 46,85% de áreas de média suscetibilidade e 9,43% de áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos (Figura 6). Em 1986, 40,37% do município era ocupado por áreas de baixa, 49,54% de média e 10,09% de alta suscetibilidades (Figura 7). Em 1993 as áreas de baixa suscetibilidade ocupavam 40,05%, as áreas de média suscetibilidade 49,69% e as áreas de alta suscetibilidade totalizavam 10,26% (Figura 8). No ano de 2008 as áreas de baixa suscetibilidade atingiram 39,16%, enquanto que as áreas de média e alta suscetibilidades ocupam 50,18% e 10,66% respectivamente (Figura 9). Notamos que a medida que a ocupação humana aumenta há uma diminuição progressiva das áreas de baixa e em contrapartida temos o aumento contínuo tanto das áreas de média quanto de alta suscetibilidades. Indicando novamente que a mudança do uso do solo e a contínua expansão da ocupação alteram a suscetibilidade dos terrenos. Nota-se também que em 1973 havia uma clara divisão do território do município entre as áreas de baixa e médias suscetibilidades e no decorrer do tempo esse equilíbrio se alterou onde as áreas de média suscetibilidade passaram a predominar passando dos 50% em 2008.

Nas áreas de baixa suscetibilidade as áreas de vegetação diminuiu ao longo do período estudados, passando de 88,73% em 1973, para 78,23% em 1986, 76,88% em 1993 e chegando a 74,15% em 2008. Esse fato pode ser explicado pelo aumento do desmatamento e pela queda nas áreas de baixa suscetibilidade do município. As áreas de mangue dentro dessa classe tem crescido em função da manutenção do ecossistema e redução das áreas de baixa suscetibilidade. Em 1973 ocupava 0,46%, 0,49% em 1986, 0,50% em 1993 e 0,51% em 2008.

A ocupação humana teve um grande aumento de 1973 para 1986 passando de 9,51% para 20,77%, aumentando mais lentamente atingindo 22,11% em 1993 e 24,65% em 2008. As áreas de desmatamento sem ocupação humana que ocupavam em 1973 0,11% a partir daí se estabilizou em 0,12%. A área ocupada pela estrada (1,19%) em 1973, época de sua construção, decresceu para 0,39% com a recuperação da vegetação ou mesmo ocupação humana no seu entorno porém entre 1993 e 2008 registrou um crescimento em sua área chegando a 0,42 refletindo a diminuição da área da classe de baixa suscetibilidade pois não houve expansão da via. Um fator positivo aparece entre 1993 e 2008, a recuperação vegetal de uma área de 0,15%.

Na classe de média suscetibilidade, a vegetação passa de 1973 onde ocupava 83,61%, para 70,17% em 1986, 68,29% em 1993 e 64,08% em 2008. O que é preocupante pois havendo desmatamento lento porém contínuo de áreas de média suscetibilidade. Não há áreas de mangue nessa classe porém de 1993 até 2008 houve a recuperação da vegetação em 0,04% dessa classe. Mostra também um brusco aumento da ocupação humana, onde em 1973 ocupava 15,76% atingindo 29,55% em 1986. Lentamente cresce até 1993 (31,43%) chegando a 35,61% em 2008. Existem áreas de desmatamento sem ocupação que em 1973 ocupava 0,08% passando para 0,07% em 1986 estabilizando até 1993, em 2008 atinge 0,08%. A área de estrada ocupava uma área de 0,55% em 1973, decrescendo para 0,20 até o ano de 1986 permanecendo assim até 1993 e passando para 0,19% entre 1993 e 2008.

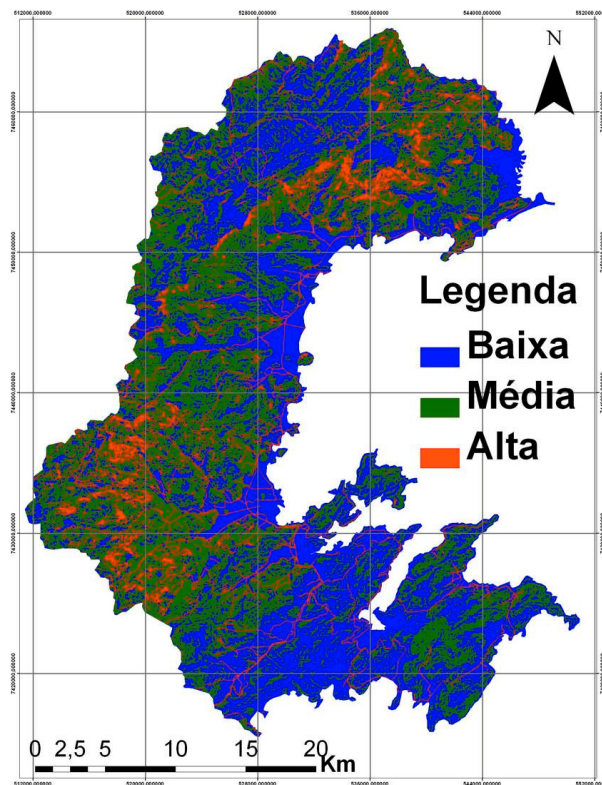


Figura 6. Carta da suscetibilidade a escorregamento do ano de 1973.

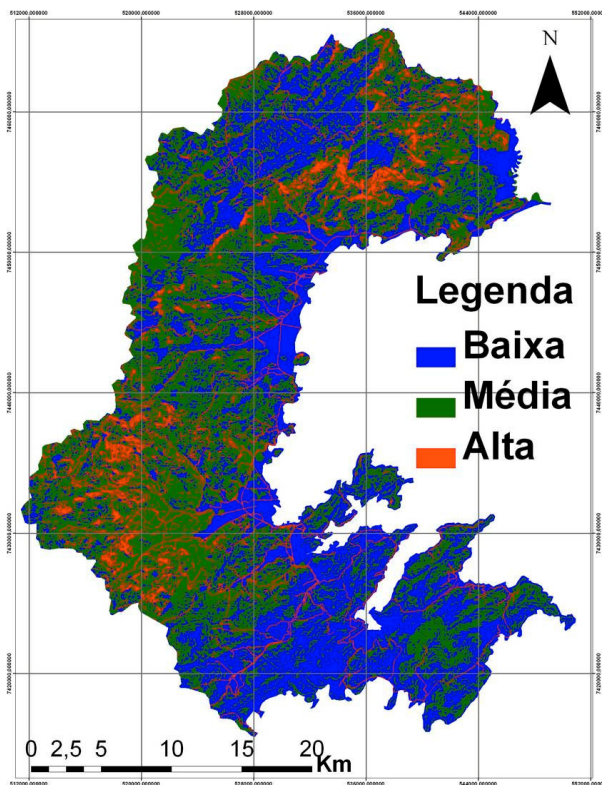


Figura 7. Carta da suscetibilidade a escorregamento do ano de 1986.

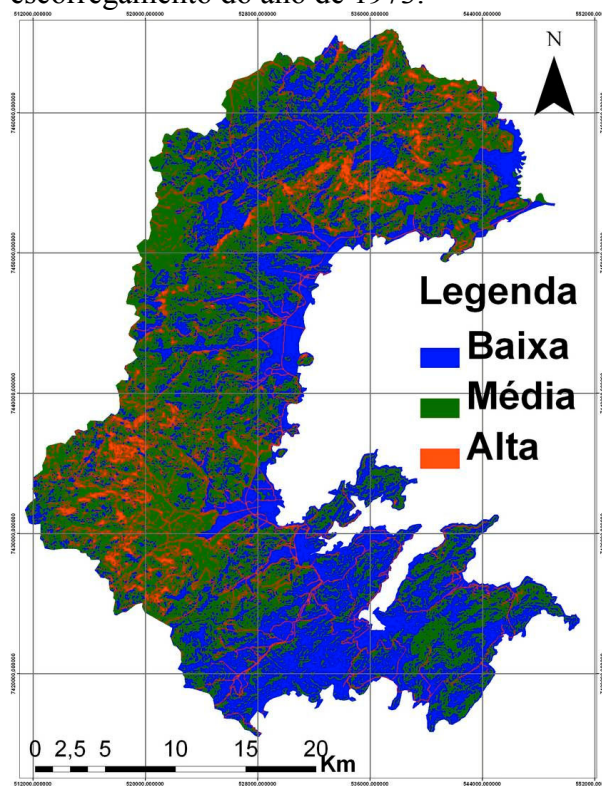


Figura 8. Carta da suscetibilidade a escorregamento do ano de 1993.

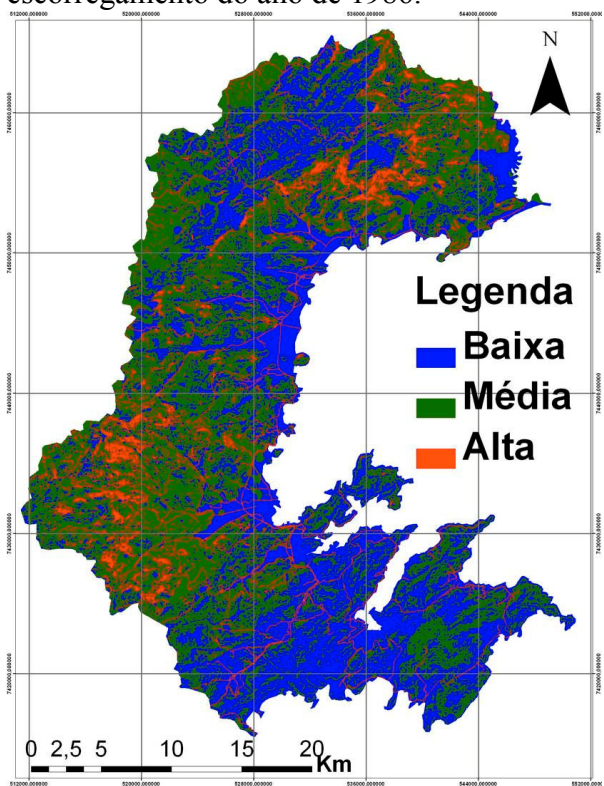


Figura 9. Carta da suscetibilidade a escorregamento do ano de 2008.

Na classe de alta suscetibilidade a vegetação também vem perdendo terreno apesar do aumento da área total da classe. Passou de 86,01% em 1973 para 73,13% em 1986, 69,94% em 1993 e 62,01% em 2008. Como nas demais houve a recuperação da vegetação em uma área de 0,01% entre 1993 e 2008. A ocupação humana cresceu de 13,63% em 1973, atingindo 26,73%, 29,92% e 37,86% respectivamente nos anos de 1986, 1993 e 2008. A classe de desmatamento sem ocupação ocupava 0,02% em 1973 aumentando para 0,03% em 1986 voltando a 0,02% em 1993 se mantendo até 2008. A estrada em sua fase de construção ocupava 0,34% passando a 0,11% até o ano de 1986 mantendo-se até 1993, voltando a cair (0,09%) até 2008.

4. Conclusões

Com o avanço da ocupação pôde-se caracterizar a variação da suscetibilidade a escorregamentos dos terrenos do Município de Paraty. Há desde 1973, época da abertura do trecho Rio-Santos da BR-101, uma contínua retração das áreas de baixa suscetibilidade a escorregamentos a medida que as áreas de média e alta suscetibilidades avançam.

Porém, 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, onde relatos da ocorrência desses acidentes são feitos por moradores locais e cicatrizes recentes e antigas podem ser encontradas.

A maior parte população urbana encontra-se em áreas de baixa declividade com pouca ocupação de encostas, enquanto que a maior parte dos desmatamentos executados nas médias e altas encostas visa a implantação de pastos e áreas agrícolas com a retirada da vegetação e sem a ocorrência de interferências no relevo. Assim a ocupação em áreas de risco é por ora incipiente em termos de população humana porém não em termos de área desmatada, mas sabe-se que áreas desmatadas são naturalmente mais sujeitas à pressão por ocupação que as florestadas.

Com isto o quadro do município é ainda tranquilo no que diz respeito a ocorrência de escorregamentos, mas é importante que o poder público aperfeiçoe o mapa preliminar aqui apresentado com estudos em maior escala bem como o estabelecimento de normas para a ocupação adequada do território do município.

Agradecimentos

Agradecemos ao ICMBIO/Paraty e ao IPT pelas discussões e apoio nas atividades de campo. Ao INPE, à Universidade de *Maryland* e ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho pelas imagens utilizadas. Orjana Carvalho Alcantara Silva agradece à CAPES pela bolsa de mestrado, pelo auxílio de campo PROAP e à Universidade de São Paulo pela acolhida.

Referências Bibliográficas

Araújo, P. C. de. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística**. 2004. 172p. Tese (doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP) 2004.

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.fev.2007.

Couto, D. L. N.; Freitas, M. M. de; Coutinho, B. H. e Freitas, L. E. de. 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: Universidade de São Paulo, 2005, Artigos, p.1-14.

Dias, F. P. e Herrmann, M. L. de P. Análise da suscetibilidade a deslizamentos no bairro do Saco Grande, Florianópolis-SC. Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 91-104, 2002.

Fernandes, Nelson F.; Guimarães, Renato F.; Gomes, Roberto A. T.; Vieira, Bianca C.; Montgomery, David R. e Greenberg, Harvey. Condicionantes Geomorfológicas dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, nº1, p. 51-71, 2001.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 01.nov.2008

Lopes, E. E. Uso da geotecnologia para a geração de cartas temáticas do município de nanuque - MG. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2006, Florianópolis. **Anais...** UFSC-Florianópolis, 2006, p.8.

Lopes, E. S. S.; Riedel, P. S.; Bentz, C. M.; Ferreira, M. V. e Naletto, 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 (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 2785-2796. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.27.13.33/doc/2785-2796.pdf>>. Acesso em: 05.mar.2008.

Nascimento, M. A Importância da Posição Geográfica na Evolução Urbana de Paraty/RJ/. Marcela do Nascimento. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro(RJ) 2004.

Silva, O. C.; Ribeiro de Almeida, T. I.; Corsi, A. C. e Ogura, A. T. Carta preliminar da suscetibilidade a escorregamentos no município de Paraty, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia (CBG), 44.; 2008, Curitiba. **Anais...**Sociedade Brasileira de Geologia. 2008. resumos, p. 415.

Zêzere, J.L.; Rodrigues,M.L.; Reis,E.; Garcia, R.; Oliveira, S.; Vieira, G. e Ferreira, A.B. Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide hazard assessment considering landslide typology. In: Lacerda,W.A.; Ehrlich, M.; Fontoura, S.A.B. e Sayão, A.S.F. (Org). **Landslides: Evaluation & Stabilization**. vol.1. Londres, Taylor & Francis Group, 2004. p.117-123.