

Integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e AHP no mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Angra dos Reis - RJ

Leandro de Souza Camargo¹
Sonia Maria Lima Silva¹

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ/FEN/Depto Engenharia Cartográfica
Rua São Francisco Xavier, 524, Bloco B, sala 4020 - 20550-900 - Rio de Janeiro - RJ
leoscarnargof5@gmail.com
ssilva@gmx.de

Abstract. The use and occupation of large urban centers in a disorderly manner have been accompanied by various disasters, causing damage in several scales with the loss of human lives and property. This study aims to identify areas with increased susceptibility to landslides from the analysis of several conditions that favor those events. The area selected for the development of this study was the municipality of Angra dos Reis, State of Rio de Janeiro, having as justification the feature of having been the scene of major natural disasters such as the one in 2010 in Morro da Carioca. This research identified the areas prone to landslides through the analysis of data from different sources, such as digital surface models (DSM), orbital satellite images and others, using a statistical method of analysis - Analytic Hierarchy Process (AHP). The methodology involved: (1) the determination of the main conditioning factors that trigger the slip events; (2) the preparation of maps representing such conditioning factors; (3) the analysis of conditions by using the Analytic Hierarchy Process (AHP); (4) assigning weights for each of such conditioning factors according to their importance; (5) developing a map of areas susceptible to landslides. The validation of the final map was made by comparing the regions classified in this paper with the events that occurred in the city. Most regions classified in the range between "high" and "very high" were targets of landslide events between the years 2002 and 2013, demonstrating that the proposed methodology can contribute in a relevant way to land management projects.

Palavras-chave: remote sensing, susceptibility, digital surface model, AHP.

1. Introdução

O acelerado processo de urbanização do Brasil nas últimas décadas, principalmente a partir de meados do século XX, tem mudado, progressivamente, o padrão de ocupação territorial da sociedade brasileira. Com a entrada do capital internacional, a partir do final da década de 1950, o Brasil passou de uma sociedade essencialmente agrícola, a produtor de industrializados. Esse processo resultou em uma concentração urbana e promoveu alterações no ritmo e no modo de vida das pessoas que, em busca de oportunidades nessa dinâmica de desenvolvimento, encontraram nos aglomerados urbanos uma infraestrutura habitacional incompatível com esta nova realidade tecida pelo recente desenvolvimento (Marques, 2011).

A grande concentração de pessoas e oportunidades nos centros urbanos, sem o planejamento adequado do poder público, tem sido apontados como grande vetor responsável pela ocupação desordenada do ambiente urbano, acarretando impactos ambientais e sociais de proporções alarmantes. Acompanhando esta ocupação indiscriminada, os desastres naturais constituem um tema cada vez mais presente no cotidiano das cidades, sobretudo para aquelas que residem em áreas de risco.

Os movimentos de massa consistem de um importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. Um dos tipos de movimentos de massa em encostas são os escorregamentos, também conhecidos como deslizamentos. Os escorregamentos são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação. Estes processos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. No Brasil, são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (Tominaga, *et al.*, 2009).

Com o avanço das tecnologias em Sensoriamento Remoto e a crescente utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o uso de imagens de satélite, como fonte de dados, tem sido uma ferramenta inteligente no auxílio à tomada de decisão no contexto do monitoramento do padrão de ocupação urbana. Trabalhos como Silva (1998), Araújo (2014), Faria (2011), Tominaga (2007), mostram a aplicação de diversas técnicas para o planejamento urbano e prevenção de desastres, o que evidencia os diversos benefícios e soluções que essas ferramentas proporcionam à gestão territorial.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2007), susceptibilidade é o indicativo de potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, e pode ser expressa segundo classes de probabilidade de ocorrência de escorregamentos ocasionadas por chuva intensa.

Esta pesquisa realizou a modelagem da susceptibilidade do município de Angra dos Reis – RJ, a partir da integração e análise de dados provenientes do satélite LANDSAT 8, bem como mapas de solo e relevo provenientes do Serviço Geológico do Brasil. O método empregado para avaliar esses dados foi o de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), que permite atribuir pesos às diversas variáveis, indicando a importância que cada uma delas desempenha no processo de escorregamento. O produto final obtido foi o mapa de susceptibilidade à escorregamentos do município de Angra dos Reis. A validação do produto final foi feita através da localização geográfica de eventos de deslizamentos ocorridos no período de 2002-2013. O resultado mostrou que os referidos eventos encontravam-se exatamente em áreas de maior susceptibilidade representadas no mapa, comprovando a efetividade da metodologia empregada.

1.1. Área de Estudo

O município de Angra dos Reis localiza-se no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, entre os meridianos 44°51'40.16"W e 44°38'40.03"W e paralelos 22°50'20,38"S e 23°13'33,07"S (Figura 1). Sua área total é de 825,082 km², com uma população estimada de 188.276 habitantes e densidade demográfica de 205,45 hab/km² (IBGE, 2015). Constitui uma área de importância regional, sobretudo pela instalação dos setores nuclear, naval e turístico, responsáveis pelo incremento econômico da região. O turismo em particular, devido aos atributos paisagísticos locais, atrai enormes fluxos populacionais durante o ano, em especial no verão (Silva *et al.*, 2013).

Climatologicamente, Angra dos Reis se destaca por apresentar uma dinâmica pluviométrica intensa. Rosa (2003) assinalou altas taxas pluviométricas, acima dos 2000 mm anuais, acentuadas pela interação entre as massas úmidas marítimas com as escarpas, bem como pela passagem e semi-estacionamento das frentes que são retidas nas reentrâncias do relevo local. Oliveira Junior (2008), destacou que as temperaturas máximas ocorrem em fevereiro e as mínimas em julho, com a máxima próximo de 39,3° C e a mínima de 9,4° C. Em média, ocorrem 158 dias chuvosos por ano, com médias mensais acima de 70 mm. As grandes chuvas ocorrem entre outubro e abril, sendo janeiro o mês mais chuvoso (276,4 mm em média).

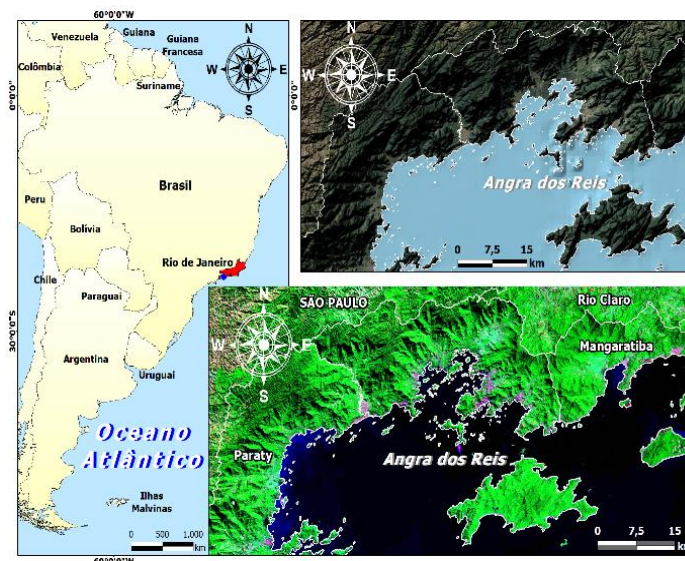


Figura 1. Área de Estudo

O município de Angra dos Reis foi selecionado nessa pesquisa, por possuir apenas 13% de áreas planas e concentrar o maior percentual de domicílios, cerca de 34,2%, localizados em comunidades carentes (IBGE, 2010). Esses domicílios foram construídos, em sua maioria, em solos pobres, rasos e sobre terrenos com alta declividade. Além do mais, esse município tem sido palco de grandes catástrofes de ordem social e econômica.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia adotada neste estudo foi baseada em três abordagens integradas: (1) definição conceitual; (2) obtenção e preparação dos dados; (3) avaliação estatística e análise dos resultados; (4) geração do mapa de susceptibilidade e validação dos resultados - Figura 2.

A definição conceitual incluiu a escolha da área de estudo e a definição dos fatores condicionantes. A seleção da área foi motivada pelos eventos recorrentes de escorregamentos ocorridos nessa região, que causaram elevadas perdas de bens e, principalmente, vidas humanas.

A escolha dos fatores condicionantes, levou em consideração diversos estudos sobre deslizamento, tais como Faria (2011), Fell et. al. (2008), IPT(2007), Moraes (2012), Silva(2008), Rodrigues (2011), Tominaga (2007). Estes autores apontaram como os principais fatores contribuintes para deflagração de escorregamentos: a declividade do terreno, a cobertura vegetal nas áreas ocupadas, a forma da ocupação antrópica no local, manifestada através de moradias ou obras de infraestrutura, o tipo de solo e a forma do terreno ocupado. Esses fatores condicionantes, no período de excepcionais pluviométricos, contribuem de forma significativa no processo de escorregamento.

A segunda abordagem incluiu a obtenção e preparação dos dados referentes aos condicionantes. A cena, proveniente do satélite Landsat-8, com resolução espacial de 30m, foi utilizada para geração dos mapas de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e de uso e cobertura do solo. O mapa de uso e cobertura do solo foi gerado empregando-se o método de classificação por máxima verossimilhança.

Os modelos digitais de superfície (MDSs), obtidos no site do IBGE, com 20m de resolução espacial, serviram de fonte de dados para a geração do mapa de declividade da região de interesse. A classificação das declividades, foi baseada nos intervalos de classes de relevo definidos pela EMBRAPA (2006).

Os dados de solo e relevo foram obtidos diretamente dos mapas disponíveis no site do Serviço Geológico do Brasil (<http://geobank.cprm.gov.br>), em formato shapefile.

A terceira abordagem incluiu a avaliação estatística e a análise dos resultados. O método AHP foi empregado para a avaliação estatística. A importância relativa de cada condicionante, representado pelas diferentes variáveis, foi estabelecida através da atribuição de pesos em uma comparação paritária entre elas, seguindo a formulação sugerida por Saaty (2006), que apresenta uma escala específica para a “padronização” das emissões de julgamentos de valor pelos avaliadores. A matriz de comparação de julgamentos foi gerada normalizada. O valor da Razão de Consistência (RC) encontrado foi de 0,004, indicando que os valores dos pesos atribuídos aos critérios foram consistentes.

A quarta abordagem incluiu a geração do mapa de susceptibilidade e validação dos resultados. Para a realização desta etapa, os dados de solo e relevo, originalmente em formato vetorial, foram convertidos em formato matricial. Os fatores condicionantes foram reclassificados em graus de susceptibilidade, variando em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. O produto final foi o mapa de susceptibilidade à escorregamentos. A validação do produto final foi feita através da comparação de registros de eventos ocorridos no período de 2002-2013, que foram localizados geograficamente no mapa.

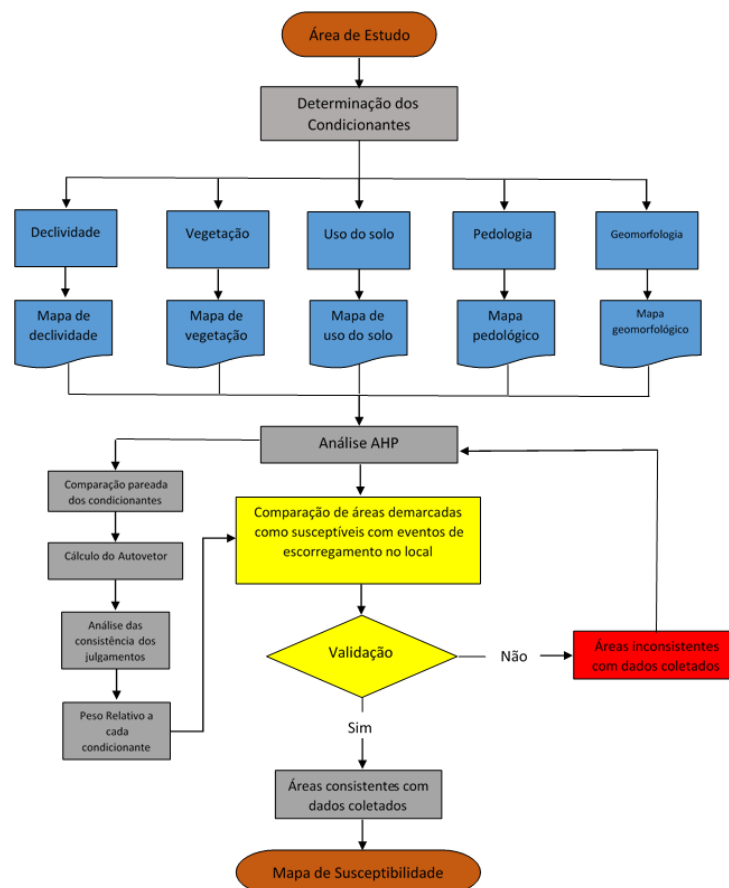


Figura. 2. Metodologia de trabalho

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a matriz de comparação de julgamentos e os valores calculados dos respectivos Autovetores. Esses valores, referentes a cada fator condicionante, foram usados como peso para representar a importância de cada um deles no conjunto estudado.

Verifica-se que os fatores condicionantes correspondentes ao uso do solo e declividade foram os que apresentaram maior importância em relação aos demais, seguidos da geomorfologia e, de forma menos expressiva, o tipo de solo e a cobertura vegetal.

Tabela 1. Matriz de comparação de Julgamentos

	Declividade	Geomorfologia	Pedologia	Uso do Solo	Vegetação	Autovetor
Declividade	1.00	3.00	3.00	1/3	5.00	0.2512
Geomorfologia	1/3	1.00	3.00	1/3	3.00	0.1488
Pedologia	1/3	0.33	1.00	1/7	1.00	0.0618
Uso do solo	3.00	3.00	7.00	1.00	7.00	0.3964
Vegetação	1/5	1/5	1.00	1/7	1.00	0.0564

A Tabela 2 mostra cada fator condicionante com seus respectivos pesos e classes. Para cada classe foram associados níveis de susceptibilidade. Os níveis de susceptibilidade associados as diferentes classes buscaram distinguir as contribuições de cada fator condicionante. O resultado obtido demonstrou que as altas declividades, a perda gradativa de vegetação nativa, a expansão territorial desprovida de planejamento, os solos rasos e expostos e o relevo predominantemente escarpado contribuem de maneira expressiva aos eventos de escorregamento.

Tabela 2. Descrição das Classes e Pesos atribuídos a cada fator condicionante

Fatores Condicionantes	Classes	Susceptibilidade	Peso
Declividade	0-3%	Muito Baixo	0,2512
	3-8%	Baixo	
	8-20%	Médio	
	20-45%	Alto	
	45-75%	Muito Alto	
	>75%	Muito Alto	
Índice de Vegetação	Hidrografia	Média	0,0564
	Área Construída	Média	
	Vegetação Gramínea	Alta	
	Vegetação Herbácea	Baixa	
	Vegetação Arbustiva	Muito Baixa	
	Vegetação Herbácea	Baixa	
Uso e Cobertura do Solo	Vegetação Gramínea	Alta	0,3964
	Vegetação Arbustiva	Muito Baixa	
	Manguezal	Muito Baixa	
	Sombras devido ao Relevo	Muito Baixa	
Pedologia	Perímetro Urbano	Médio	0,0618
	Aluviais-Distróficos	Baixo	
	Areia Argilo-Siltosa	Alto	
	Cambissolo	Médio	
	Ilha	Médio	
	Latossolo Vermelho-Amarelo	Baixo	
	Litólico-Álico	Baixo	
	Podzólico Hidromórfico	Muito Alto	
	Urbano	Médio	
	Domínio Suave Colinoso	Muito Alto	

Geomorfologia	Domínio Suave Montanhoso	Muito Alto	0,1488
	Escarpas Serranas	Muito Alto	
	Morros e Morrotes Baixos Isolados	Alto	
	Planícies Aluviais	Baixo	
	Planícies Colúvio-Alúvio Marinhas	Muito Baixo	
	Planícies Costeiras	Baixo	
	Planícies Flúvio Marinhas	Médio	

A Figura 3 apresenta o mapa de susceptibilidade a escorregamentos, gerado a partir dos níveis de susceptibilidade atribuídos a cada fator condicionante.

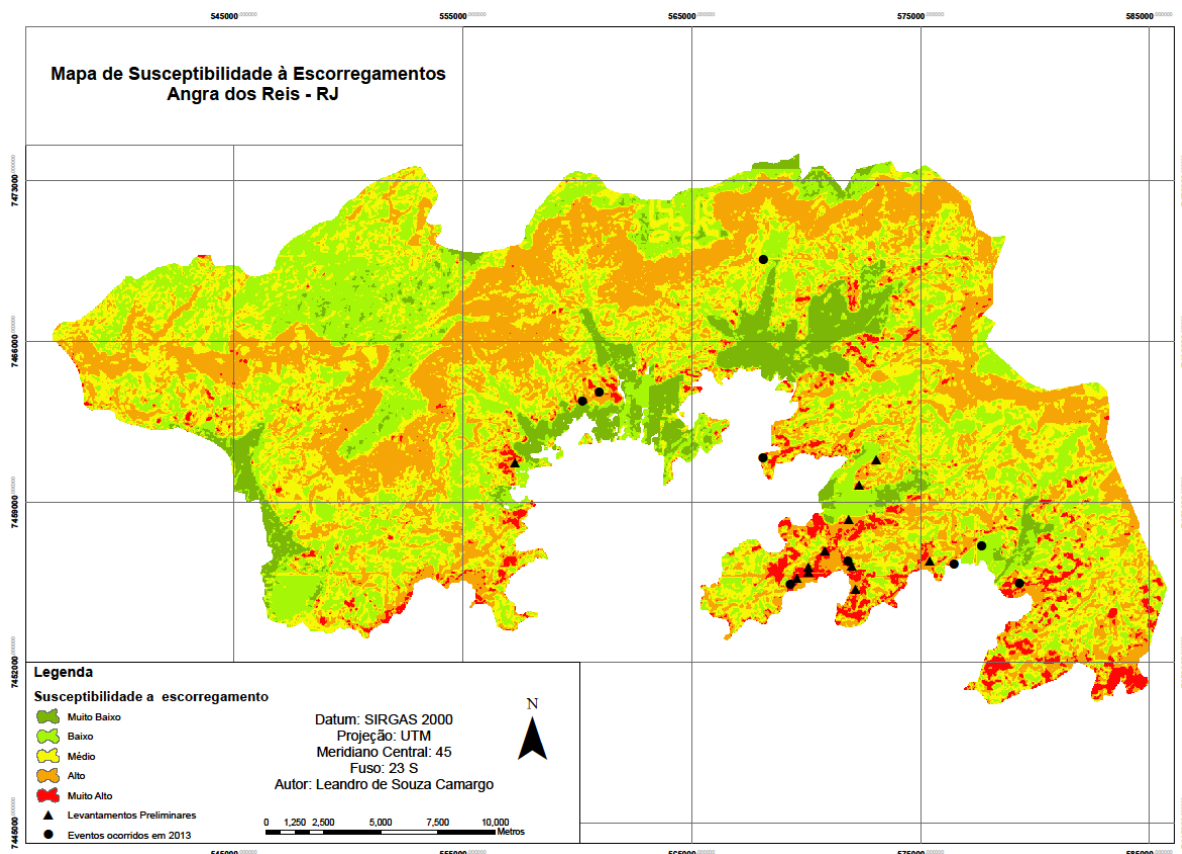


Figura 3. Mapa de Susceptibilidade a Escorregamentos Angra dos Reis – RJ.

4. Conclusões

O presente trabalho demonstrou que as áreas representadas no mapa como de maior susceptibilidade aos movimentos de massas, foram aquelas nas quais as ocorrências da maioria dos desastres no município de Angra dos Reis, registrados pela Defesa Civil, estão localizadas. Este resultado demonstra a importância da metodologia proposta nesse artigo e a possibilidade da mesma ser utilizada em outras regiões do Brasil.

A comparação das áreas sinalizadas como críticas, classificadas como de susceptibilidade muito alta e alta, com os eventos reais de escorregamento na região, comprova que o uso de produtos de Sensoriamento Remoto, atrelado a ferramentas de análise espacial e estatística podem contribuir de maneira eficaz no apontamento das áreas que carecem de uma maior atenção do poder público.

O avanço tecnológico, com a disponibilidade e melhoria dos sensores orbitais, aliados a possibilidade de utilização de ferramentas de SIG, que permitem integrar dados de diferentes fontes e criar diferentes cenários para análises, permite uma visão dinâmica para a avaliação dos riscos, auxiliando na tomada de decisões, na identificação de áreas vulneráveis e no entendimento das causas e efeitos de tais fenômenos.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Dr. Corbiniano Silva, UERJ/FGEL/Depto de Geologia, pela colaboração na elaboração de materiais visuais e troca de idéias.

Referências Bibliográficas

Carvalho, C.S.; Macedo, E.S.; Ogura, A.T. (orgs). 2007. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas tecnológicas – IPT, 176 p.

Camargo, L.S. 2015. **O uso do sensoriamento remoto no mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Angra dos Reis através do método AHP**. 88 p. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. 2010. Geologia de Engenharia e Riscos Geológicos. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos-38>>. Acesso em: 20. Julh.2015.

EMBRAPA. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (2ª edição). Brasília – DF.

Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, C.; Savage, W. 2008. **Manual para o zoneamento de susceptibilidade, perigo e risco de escorregamento para o planejamento do uso do solo, JTC-1 - Comitê Técnico de Escorregamentos e Encostas Artificiais** (“Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes”), 70p.

IBGE. 2015. IBGE – Cidades. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 20. Julh.2015

Marques, J.A.P. 2011. **Estudo de Metodologia de Avaliação de Risco a Escorregamento de Terra em Área Urbana: O caso do município de Juiz de Fora – MG**. 2011. 146 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ambiente construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

Moraes, I.B.C.M. 2012. **Mapeamento digital de áreas susceptíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis - RJ**. 92 p. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologias e Ciências, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Oliveira Júnior, J.F. 2008. **Estudo da Camada Limite Atmosférica na Região de Angra dos Reis através do Modelo de Mesoescala MM5 e Dados Observacionais**. COPPE/UFRJ. Civil Engineering Program. Doctoral dissertation.

Rosa, N.A. 2003. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA - Unidade III do DIRR/CNAAA**, July, p. 102.

SDC - Secretaria Municipal de Defesa Civil. 2005. Levantamento Preliminar das áreas de acidente associados a movimento de massa. SDC. N°01/2005. Disponível em <<http://www.youblisher.com/p/31179-Angra-dos-Reis-em-risco>>. Acesso em: 24. Novem.2015

Saaty, T.L. 2006. **Método de Análise Hierárquica, São Paulo SP, Brás; McGraw-Hill-Makron**. (Versão ampliada e revisada por Wainer da Silveira e Silva, do original em inglês The Analytic Hierarquic Process, Pittsburg, USA: R WS Publications, 1980.)

Silva, M.A.2008.**Aplicação de Lógica Nebulosa para Previsão de Risco de Escorregamentos de Taludes em Solo Residual**. 150 p. Dissertação Mestrado. Centro de Tecnologias e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Silva, S.M.L. 2014.**Mapeamento de depósitos cenozoicos por meio de modelos digitais de superfície obtidos a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial**. 190 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia.

Tominaga, L.K.; Souza, C.R.G.; Faria, D.G.M.; Santoro, J.; Tavares, R.; Mendes, R.M.; Ribeiro, R.R.; Amaral, R.; Filho, W.S. 2009. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**.São Paulo: Instituto Geológico. 193 p.

Tominaga, L.K. 2007.**Avaliação de metodologias de análise de riscos de escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba – SP**. 240 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.