

Mapeamento da Suscetibilidade a movimentos de massa no Município de Santo André - SP utilizando dados geológicos e de Sensoriamento Remoto

Adilson Soares ¹
Willian Reis de Santana ¹
Thaís Fernandes Barradas ¹
José Guilherme Franchi ¹

¹ Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP
Rua Prof. Artur Riedel, 275. Bairro: Jd. Eldorado. CEP: 09972-270. Diadema - SP - Brasil
adilson.soares@unifesp.br, willian_reissantana@hotmail.com, barradasthais@gmail.com,
jfranchi@unifesp.br.

Abstract. This paper presents a methodology for susceptibility mapping of shallow landslides just from data and software from the public domain. The study was conducted in a mountainous region located on Santo André City, in the state of São Paulo. The susceptibility mapping was generated based on the following maps: geological, slope, vertical curvatures, lineament density and land use. The thematic classes of these maps were weighted according to technical and scientific criteria related to the triggering of landslides. A numerical rating scheme for the factors was developed for spatial data analysis in a GIS. The resulting landslide susceptibility map delineates the area into different zones of four relative susceptibility classes: very high, high, moderate and very low. The results show that some urban areas were built on high and very high risk areas. Slope and lithology are the factors that most influence susceptibility classes.

Palavras-chave: GIS, landslides, susceptibility mapping, SIG, movimentos de massa, mapeamento da suscetibilidade.

1. Introdução

O crescimento desordenado das grandes cidades aliado à falta de planejamento territorial urbano pelos gestores públicos proporcionou nas últimas décadas uma intensa migração, em especial da população desfavorecida economicamente, para locais com condicionantes geológicos e geomorfológicos desfavoráveis à ocupação urbana.

No município de Santo André, vários casos de deslizamentos de terra foram reportados por jornais locais e regionais na última década, quase sempre associados a ocupações urbanas irregulares.

Dada toda essa problemática, nos últimos anos, os municípios brasileiros têm destinado recursos para a confecção de cartas geotécnicas, que podem ser utilizadas no planejamento urbano de uma determinada área, para definir se a mesma pode ou não ser ocupada (IPT, 2015). Dentre os tipos de cartas geotécnicas, têm-se a Carta de Suscetibilidade, que segundo Nakazawa *et al.* (1991) e Prandini *et al.* (1995), tem o objetivo de informar sobre a possibilidade de ocorrência de um ou mais fenômenos geológicos e de comportamentos indesejáveis, pressupondo uma dada forma de uso do solo. Este trabalho tem como objetivo criar a Carta de Suscetibilidade a movimentos de massa do Município de Santo André a partir de dados geológicos e de Sensoriamento Remoto, a partir de técnicas de geoprocessamento.

O Município de Santo André está situado entre as coordenadas geográficas 23°36' 19,6" S; 46° 34' 00" W e 23°49' 1,4" S; 46° 16' 43,9" W, possui uma área de 174,38 km², equivalente a 0,07% do território do Estado de São Paulo e pertence à região do ABC Paulista, juntamente com os municípios de Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul (Figura 1).

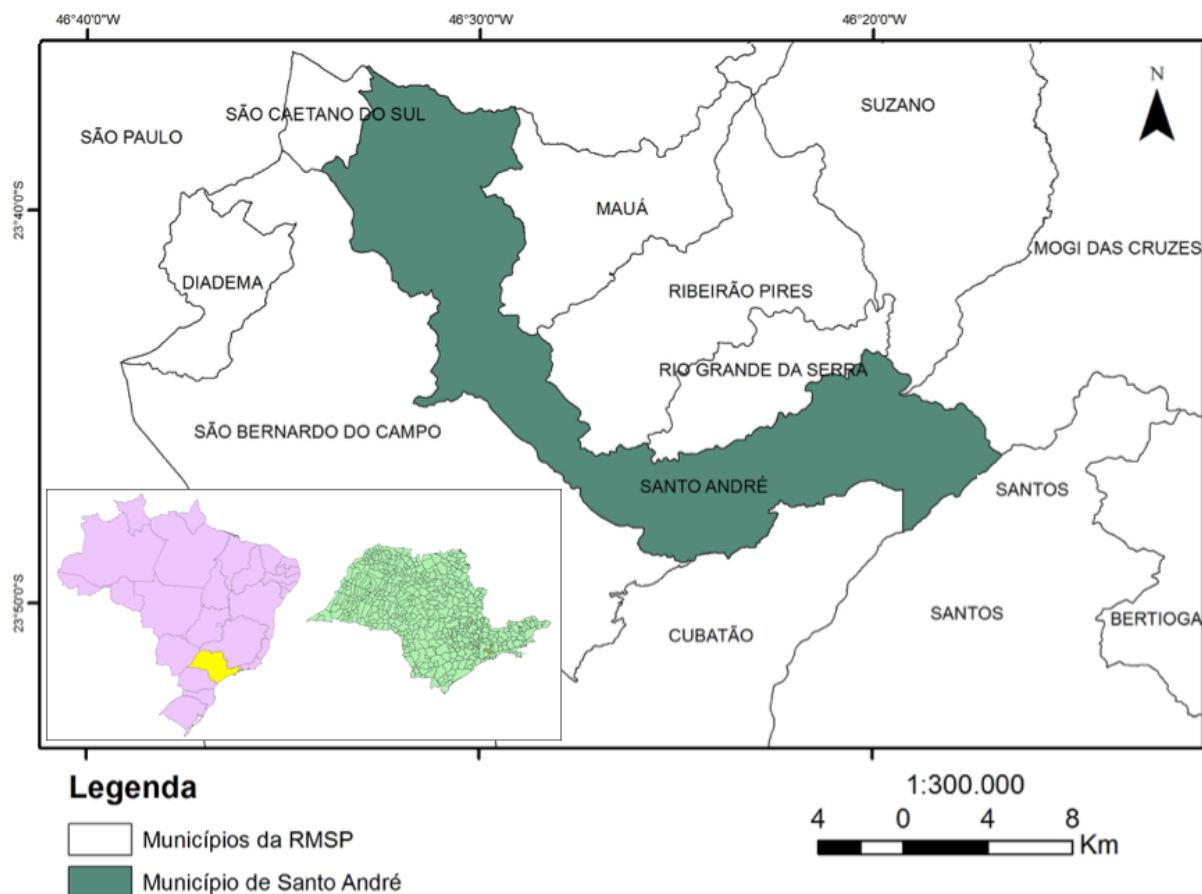


Figura 1 – Mapa de localização do Município de Santo André.

2. Metodologia de Trabalho

Foram utilizadas imagens do satélite óptico Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), e imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) ambas com resolução espacial de 30 metros, adquiridas através da plataforma Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>), mantida pelo Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey – USGS). O Mapa Geológico foi adquirido no formato *shapefile*, a partir de Coutinho (1982). Todos os dados foram processados no software ArcGIS versão 10.1 (ESRI, 2011).

Devido ao fato de Movimentos de Massa serem resultado da interação de fatores complexos, a predição da suscetibilidade não é uma tarefa simples. Existem duas abordagens básicas para estudos desta natureza. Neste trabalho foi adotada a técnica de combinação qualitativa de mapas, já consagrada na literatura mundial (ex.: Kavzoglu et al. 2014; Lara e Sepúlveda, 2010; Sarkar e Kanungo, 2004; Gusmão Filho et al. 1992 dentre outros) e que utiliza um sistema de classificação baseado na importância relativa dos principais fatores que influenciam a instabilidade das vertentes na área de estudo, que são: Fatores Geomorfológicos (Declividade e Perfil de Encosta), Fatores Geológicos (Litologia e Estruturas Geológicas) e Fatores Ambientais (Uso do Solo).

Foram gerado cinco mapas, um para cada fator condicionante da suscetibilidade de deslizamentos (declividade, perfil vertical, litologia, densidade de lineamento e uso do solo), onde cada pixel de 30 x 30 metros da mapa recebeu o Grau Numérico de 1 a 5, onde o risco em 1 é Muito baixo, em 2 é Baixo, em 3 é Médio, em 4 é Alto e em 5 é considerado Muito Alto (Tabela 1)

O Índice de Suscetibilidade (IS) foi gerado a partir da somatória do Grau Numérico destes mapas, multiplicado pelo peso atribuído a cada fator, conforme expresso na Equação 1. Os pesos utilizados foram 0,3 para a Declividade; 0,3 para o fator Litologia; 0,2 para o fator Uso do Solo; 0,1 para a Densidade de Lineamentos; e 0,1 para o Perfil de Encosta.

$$IS = \sum_{i=1}^5 R_i P_{ij} \quad (1)$$

onde: R_i é o Grau Numérico de Risco do Fator Condicionante i ; P_{ij} representa o peso j atribuído ao Fator Condicionante i .

O resultado da somatória foi agrupado em quatro classes: R1 - Risco Baixo, R2 - Risco Moderado, R3 - Risco Alto e R4 - Risco Muito Alto, de acordo com método desenvolvido em 2007 pelo Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Brasil, 2007).

3. Resultados e Discussão

Os fatores condicionantes que contribuem para o desencadeamento do processo de Movimento de Massa são principalmente os elementos do meio físico e, secundariamente, do meio biótico. São os conjuntos de condições geológicas, geométricas e ambientais da área. Trata-se das condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação humana (Tominaga, 2007).

Tabela 1: Classes e pesos atribuídos aos fatores condicionantes

Fator Condicionante	Classe	Grau de Risco		Peso do Fator Condicionante
		Numérico	Descritivo	
Declividade	0 - 5%	1	Muito Baixo	0,3
	5 - 12%	2	Baixo	
	12 - 30%	3	Moderado	
	30 - 47%	4	Alto	
	>47%	5	Muito alto	
Litologia	Granitos não foliados, Rochas sedimentares	1	Muito Baixo	0,3
	Quartzitos e Anfibolitos	3	Moderado	
	Migmatitos e Gnaisses, Xistos (Micaxistos), Milonito, Filitos	4	Alto	
	Ultramilonitos, aluviões	5	Muito Alto	
Uso do Solo	Área Urbana Consolidada	1	Muito Baixo	0,2
	Vegetação Densa	2	Baixo	
	Solo Exposto	5	Muito Alto	
	Área Urbana Subnormal	5	Muito Alto	
Densidade de lineamentos (Lineamentos/Km ²)	0-1,40	1	Muito Baixo	0,1
	1,40-2,43	2	Baixo	
	2,43-3,34	3	Moderado	
	3,34-4,56	4	Alto	
	4,56-7,57	5	Muito alto	
Perfil de Encosta	Retilíneo	2	Baixo	0,1
	Convexo	3	Moderado	
	Côncavo	4	Alto	

3.1. Declividade

A declividade é derivada do Modelo Digital de Elevação e foi classificada de acordo com a escala de De Biasi (1992), que considera que valores de 0 a 5% possuem Risco Muito Baixo, 5% a 12% Risco Baixo, 12% a 30% Risco Moderado, 30% a 47% Risco Alto e valores maiores que 47% possuem Risco Muito Alto (Tabela 1).

As maiores declividades dentro do município de Santo André estão presentes nas margens da Represa Billings e na porção sul próximo dos limites com os municípios de Cubatão, Santos e Rio Grande da Serra. Na porção Norte, onde estão presentes cerca de 95% da população, há o predomínio de declividades baixas, variando de 0-12%. Algumas áreas urbanas restritas encontram-se algumas áreas com declividades altas (Quadro 1A).

3.2. Curvatura Vertical

É um aspecto geomorfológico que possui influência direta na estabilidade das encostas e é dividido em três tipos distintos: convexo, côncavo e retilíneo. As Retilíneas apresentam ângulos constantes em seus perfis, em torno de 36° a 45°, e com as menores espessuras de solo; as Côncavas apresentam aumento do ângulo do perfil de cima para baixo nas encostas, com declividades menores que 20° e possuem as maiores espessuras de solo; as Convexas apresentam redução do ângulo do perfil de cima para baixo nas encostas e encontram-se, neste tipo de encosta, solos de espessura mediana.

As três formas de curvatura vertical (Retilínea, Convexa, Côncavo) estão presentes na área, com predomínio das formas Côncavas e Convexas (aproximadamente 92% da área). Apenas 8,6% das formas de suas encostas são do tipo Retilínea. As encostas retilíneas estão localizadas em alguns pontos da Macrozona Urbana (Porção Centro-Norte) e de Proteção Ambiental (Porção Centro-Sul) (Quadro 1B).

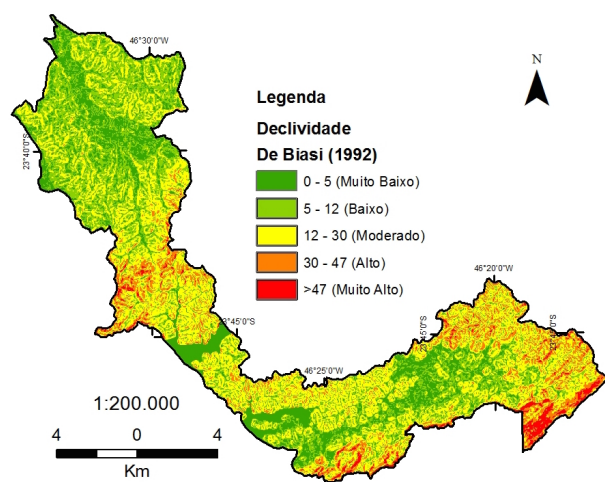
3.3. Uso do Solo

A classe vegetação densa encontra-se principalmente na porção Sul do município, região mais afastada da zona urbana e que mantém fragmentos florestais remanescentes de Mata Atlântica. Na porção Norte do município, ocorre, principalmente, a classe Área Urbana Consolidada. Além disso, nesta região, há a presença de aglomerados subnormais (favelas, loteamentos irregulares, palafitas, comunidades, grotas, baixadas), que possuem condições de infraestrutura precárias, como falta de coleta de lixo e coleta de esgoto. É comum nestas áreas a realização de cortes nos taludes e de retirada da vegetação para a construção de moradias, deixando assim o solo exposto à ação do escoamento superficial, aumentando consideravelmente o risco para a ocorrência de deslizamentos (Quadro 1C).

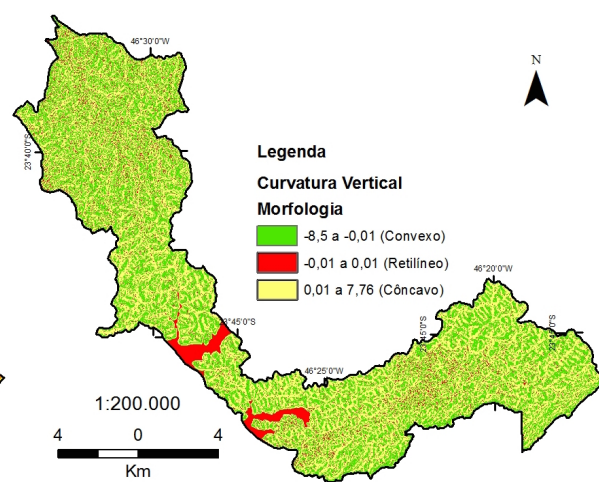
3.4. Densidade de Lineamentos

Os valores de densidade de lineamentos variaram de 0 até 7,57 lineamentos/km² e foram divididos em cinco classes: 0 a 1,4; 1,4 a 2,43; 2,43 a 3,34; 3,34 a 4,56; e 4,56 a 7,57.

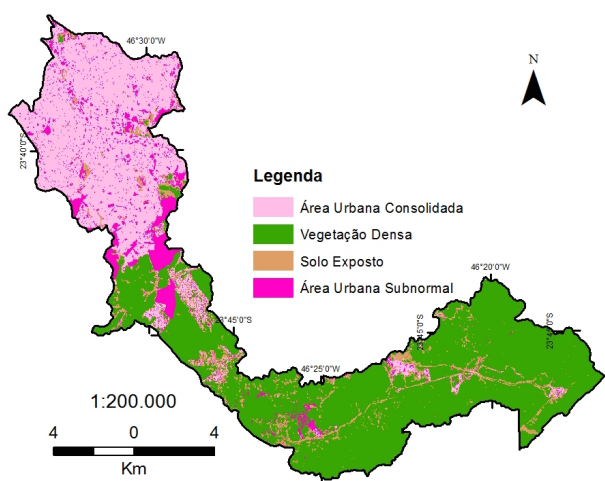
No município de Santo André, as maiores densidade de lineamentos (quantidade de lineamentos estruturais por km²) estão presentes nas margens direita e esquerda da Represa Billings, porção central do município, e próximo à divisa com o município de Rio Grande da Serra, porção sudeste do município. Também se observam pequenas manchas de altas densidades de lineamentos na Área Urbana Consolidada do município (Porção Norte) (Quadro 1D).



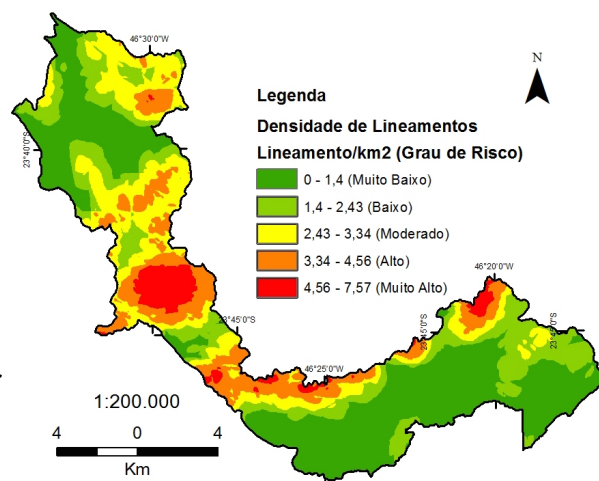
A- Mapa de Declividade.



B - Mapa de Curvatura Vertical.



C - Mapa de Uso do Solo.



D - Mapa de Densidade de lineamentos.



E - Mapa de Litologia.

Quadro 1: Fatores condicionantes utilizados para a construção da Carta de Suscetibilidade.

3.5. Litologia

A composição física e química dos tipos de rochas, as suas propriedades mecânicas sob a ação de diferentes meios morfoclimáticos atuam diretamente na deflagração dos movimentos gravitacionais de massa (CANEPARO, 2013). Na área há a presença dos litotipos: Depósitos Quaternários e Aluviões (Argilas, Areias e Cascalhos); Rochas Sedimentares inconsolidadas (Conglomerados, Arenitos, Diamictitos e Lamitos; Micaxisto), Rochas Metamórficas (Migmatitos e Gnaisses Graníticos, Filitos, Anfibolitos, metabasitos, metadiabásio, metagabro, Milonitos, Ultramilonitos, Granitoides Foliados, Quartzitos) e; Rochas Ígneas (Granito, Biotita granito, Granodiorito, Monzogranito) (Quadro 1E).

3.6. Carta de Suscetibilidade

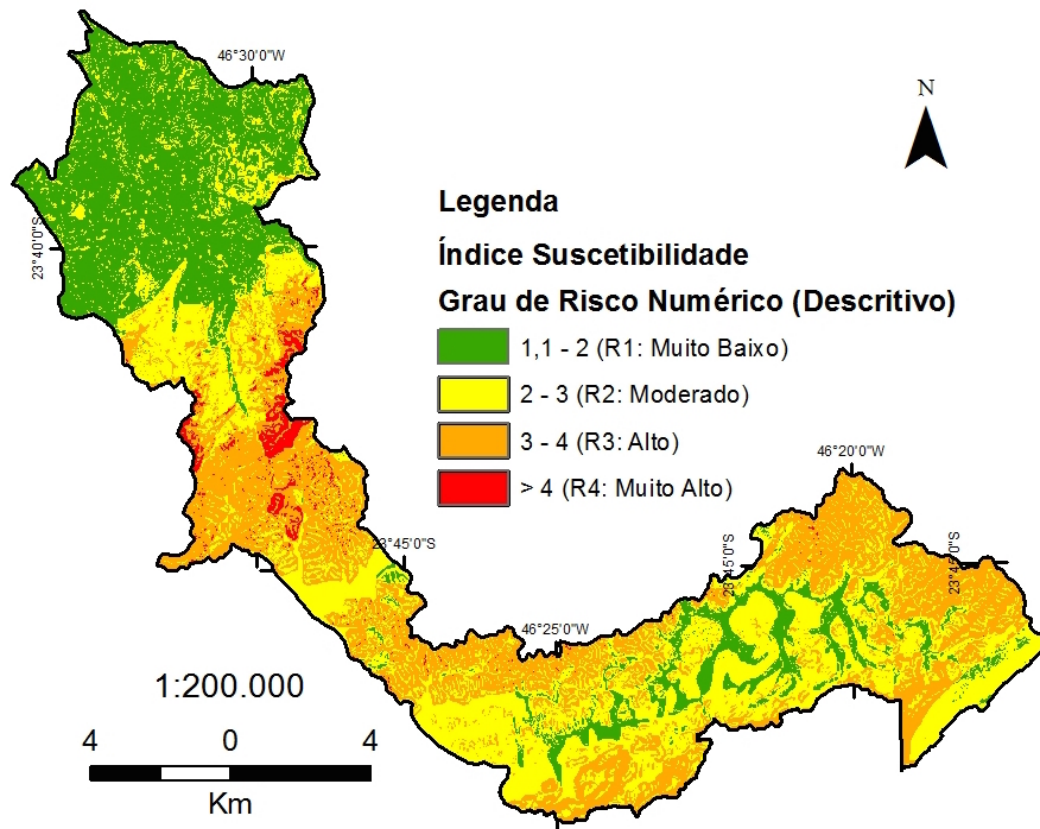
A suscetibilidade a um determinado processo geológico como o Movimento Gravitacional de Massa, é expressa em classes de possibilidade de ocorrência deste processo (BITAR et al., 1992). É a expressão do cálculo do Índice de Suscetibilidade e os valores variaram de 1,1 a 4,59, e foram classificados em quatro classes: R1: Muito Baixo (1,1 a 2); R2: Moderado (2 a 3), R3: Alto (3 a 4) e R4: Muito Alto (>4) (Figura 2).

As áreas classificadas como R1: Muito Baixo estão associadas a locais com declividades baixas, a litotipos graníticos e sedimentares e áreas urbanas consolidadas, e concentram-se da Porção Centro-Norte do município, a região mais populosa e urbanizada do município.

As áreas de Risco Moderado (R2) estão associadas a declividades médias e densidade de lineamentos estruturais também média. Os litotipos predominantes são Rochas Sedimentares e graníticas. Por vezes estão em zonas urbanas consolidadas ou áreas com presença de cobertura vegetal.

As áreas classificadas como R3 (Risco Alto) estão associadas com locais com altas declividades (30 a 47%), com litotipos metamórficos como dos xistos, filitos, micaxistos, alta densidade de lineamentos estruturais, com ocupação urbana do tipo aglomerados subnormais. Os setores de grau de risco R3 situam-se nas margens do Corpo d'água da Represa Billings, porção Central do município, e na porção Sul, próximo aos limites de municípios com Rio Grande da Serra e Cubatão. Foram reportados casos de deslizamentos nessas áreas, como no bairro Jardim Santo André, situado ao norte do Parque Natural e Municipal do Pedroso, margem direita da Represa Billings. A presença de aglomerados subnormais na encosta e de cultivos de bananeiras são os principais indutores para que tenha ocorrido o deslizamento de terra na encosta.

As áreas de Risco Muito Alto (R4) estão em locais com altas declividades, presença marcante de aglomerados subnormais, com litotipos com presença de planos de fraquezas em suas estruturas, casos dos xistos, micaxistos, com litotipos como milonito e ultramilonito, com altas densidades de lineamentos, evidenciando zonas de falhas e fraturas. Situam-se, majoritariamente na margem direita do Corpo d'Água da Represa Billings, na porção Central, na Macrozona Urbana. Os bairros que possuem locais com grau de risco R4 são: Cidade São Jorge, Cata Preta, Condomínio Maracanã, Waisberg I, Jardim Riviera, Recreio da Borda do Campo, Parque do Pedroso, Parque dos Pássaros, Sítio dos Vianas.



4. Conclusões

- O uso de produtos de Sensoriamento Remoto e geotecnologias é de extrema valia para a análise dos riscos atribuídos aos processos de movimentos de massa;
- Na área há o predomínio de áreas com riscos Moderado e Alto, e estão concentrados onde habitam apenas 5% da população do município;
- As áreas com a presença de rochas metamórficas, como os xistos, micaxistos, milonitos são mais propícias para deslizamentos de terra;
- As áreas de risco Muito Baixo estão associadas a locais com baixas declividades (até 12%), a baixas densidades de lineamentos estruturais (entre 0-2,43 lineamentos/km²), a litotipos como granitos e rochas sedimentares consolidadas (conglomerados, diamictitos, arenitos e lamitos) e as áreas urbanas consolidadas;
- As áreas de riscos Alto e Muito Alto estão associadas aos locais com declividades superiores a 20%, a altas densidades de lineamentos (entre 3,34 a 7,57 lineamentos/km²), indicando áreas com presença marcante de falhas e fraturas, a litotipos que possuem planos de fraquezas, como fílitos, xistos e micaxistos;
- Os locais em que devem ser limitadas novas ocupações humanas são os bairros: Acampamento Anchieta, Cabeceiras do Araçaúva, Cabeceiras do Rio Mogi, Cabeceiras do Rio Pequeno, Campo Grande, Cata Preta, Cidade São Jorge, Condomínio Maracanã, Estância Rio Grande, Jardim Clube do Campo, Jardim Cristiane, Jardim do Estádio, Jardim

Guaripocaba, Jardim Ipanema, Jardim João Ramalho, Jardim Joaquim Eugênio de Lima, Jardins Las Vegas, Jardim Marek, Jardim Riviera, Jardim Santa Cristina, Jardim Santo André, Jardim Stella, Paraíso, Paranapiacaba, Parque América, Parque das Garças, Parque Estadual da Serra do Mar, Parque Marajoara, Parque dos Passaros, Parque do Pedroso, Parque Represa Billings II, Parque Represa Billings III, Parque Rio Grande, Recreio da Borda do Campo, Reserva Biológica Alto da Serra, Sítio Taquaral, Sítio dos Vianas, Três Divisas, Várzea do Rio Grande, Vila Assunção, Vila Guaraciaba, Vila Guarani, Vila Humaitá, Vila Junqueira, Vila Linda, Vila Luzita, Vila Pires, Vila Suíça, Vila Tibiriçá.

Referências Bibliográficas

Brasil. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop: Release 10**. Redlands, CA. 2011.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Coord. Cunha, M.A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

GUSMÃO FILHO, J. A ., DE MELO, L. V., ALHEIROS, M. M. Estudo das Encostas de Jaboaão dos Guararapes, PE. Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. **Anais... ABMS-ABGE-ISSMGE**, v 1, p.191-209. 1992.

Kavzoglu, T; Sahin, E. K.; Colkesen I. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. **Landslides** (2014) 11:425–439.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LARA, M. e SEPÚLVEDA S. A. Landslide susceptibility and hazard assessment in San Ramon Ravine, Santiago de Chile, from an engineering geological approach. **Environ. Earth Sci.** (2010) 60:1227–1243.

NAKAZAWA, V.A et al. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBG/SP-RJ, p.329-336.

PRANDINI, F.L; Nakasawa, V. A.; Freitas, C. G. L.; Diniz, N. C. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.4, p.187-202.

SARKAR, S. e KANUNGO, D.P. 2004. An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Vol. 70, No. 5, pp. 617–625.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 240f.