



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO, SÃO PAULO, BRASIL

Ana Lúgia do Nascimento Martins ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

ana.nascimento@inpe.br

Resumo: Movimentos de massa são fenômenos naturais que compreendem o deslocamento de solos, rochas e sedimentos ao longo de vertentes. Estes fenômenos podem ser intensificados por fatores naturais e potencializados pela ação humana, vindo a causar acidentes e grandes desastres naturais, portanto, determinar a suscetibilidade de ocorrência desses eventos é primordial para tomada de medidas efetivas de prevenção. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas computacionais capazes de estimar a suscetibilidade de tais eventos por meio da integração de dados, nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar a suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião - SP, por meio métodos de inferência espacial booleana, média ponderada e média ponderada com suporte AHP, realizando o processamento no *software* SPRING, utilizando dados geológicos, geomorfológicos, de solos, uso e cobertura do solo e declividade.

Palavras-chave: Inferência espacial; suscetibilidade; movimento de massa.

1 INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são processos dinâmicos que englobam movimentos de solo, rocha ou vegetação ao longo de vertentes, pela ação direta da gravidade (Tominaga, 2009, apud Flach et al., 2018). Esses processos são denominados modeladores de uma paisagem, e podem ser desencadeados por diferentes fatores naturais, como o tipo de solo, forma do terreno, características de precipitação, geometria das encostas, e podem ser potencializados pela ação humana, por meio da remoção de cobertura vegetal, ocupação irregular, cortes em talude, depósito de lixo, entre outros (Bispo et al, 2011; Muñoz, 2005; Sothe et al., 2017).

Apesar de serem fenômenos naturais, os movimentos de massa podem ser considerados eventos de risco ao serem potencializados pela ação humana, trazendo inúmeros prejuízos ao meio biofísico e natural (Zuquette et al., 1995; Sestini, 1999, apud Bispo et al., 2011), além de diversos impactos sociais e econômicos. No Brasil, destacam-se deslizamentos causados pela ação de intensas chuvas (Prieto et al., 2016; Sothe et al., 2017). Dentre os 376 desastres naturais oficialmente relatados no ano de 2013, os deslizamentos corresponderam a cerca de 27,96% dos óbitos registrados (Brasil, 2014, apud Júnior, 2017).

Diante desse cenário, percebe-se a importância de estudos voltados para a identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa no Brasil, a fim de evitar maiores desastres que tragam risco à vida. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) figuram-se é uma importante ferramenta computacional que permite a integração de diferentes dados, para auxiliar na elaboração de prognósticos confiáveis de determinada área de interesse (Bispo et al., 2011).

Neste contexto, este trabalho propõe analisar a suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião - SP, por meio métodos de inferência espacial: o método booleano, média ponderada e média ponderada com suporte AHP, realizando o processamento no *software* SPRING, utilizando dados geológicos, geomorfológicos, de solos, de uso e cobertura do solo e declividade, adquiridas por meio de um banco de dados criado por Crepani (2011).

1.1 Os tipos de movimento de massa

Existem diferentes tipos de movimento de massa, que podem ser classificados de acordo com a velocidade do movimento, da geometria de falha, do tipo de material removido, do grau de alteração, das características da vertente, entre outros fatores (Suárez, 1988, apud Muñoz, 2005). Devido a complexidade dos movimentos, existem diversas terminologias empregadas (Oliveira, 2004). De acordo com a Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2017), os movimentos de massa podem-se subdivididos em quatro tipos: a) quedas, tombamentos e rolamentos de rochas; b) deslizamentos e escorregamentos de solos e/ou rocha; c) fluxo de detritos e massa; e d) subsidências e colapsos.

Movimentos de massa do tipo queda, compreendem a queda livre e extremamente rápida de fragmentos rochosos, que se desprendem de talude íngremes, em diferentes volumes. Movimentos do tipo tombamento, também conhecidos como basculamento, ocorrem quando blocos rochosos sofrem movimento de rotação frontal para fora do talude, e ocorrem em encostas e taludes íngremes com descontinuidades. Rolamentos compreendem os movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, e muitos deles ocorrem devido descalçamentos (CEMADEN, 2017; IPT, 1991 apud Oliveira, 2004).

Deslizamentos ou escorregamentos são caracterizados por movimentos rápidos de solo ou rochas, ou ambos ao mesmo tempo, que possuem limites laterais e profundidade bem definidos, ocorrendo em superfícies de ruptura. A geometria dos deslizamentos pode ser circular, planar ou em cunha, dependendo da presença de estruturas que condicionem a formação das superfícies de ruptura (Oliveira, 2004). Geralmente, os movimentos são classificados em deslizamento rotacional, quando a superfície de ruptura é curvada, com movimento rotatório em materiais superficiais homogêneos, ou deslizamento translacional, quando ocorre em uma superfície relativamente plana e associada a solos mais rasos (CEMADEN, 2017).

Os fluxos de lama e detritos, ou processos de corrida de massa, são movimentos de massa extremamente rápidos, causados por índices pluviométricos excepcionais, que liquefazem o material superficial que escoar encosta abaixo, em forma de um material viscoso composto por lama e detritos rochosos. A ocorrência de corridas de massa é

geralmente mais rara que os demais movimentos de massa, entretanto, ela possui um alto poder destrutivo (CEMADEN, 2017; IPT, 1991 apud Oliveira, 2004).

Por fim, os movimentos de subsidência são movimentos que envolvem o colapso da superfície, caracterizados pelo afundamento rápido ou gradual do terreno, originado na remoção de uma fase sólida, líquida ou gasosa. Dentre as causas comuns para esse tipo de movimento, destacam-se o poder erosivo de águas subterrâneas, atividades de mineração, efeito de vibração em sedimentos não consolidados, exploração de petróleo e bombeamento de águas subterrâneas (Gerscovich, 2016).

A Figura 1 apresenta alguns dos tipos de movimentos de massa, classificados de acordo com o tipo e natureza do material.

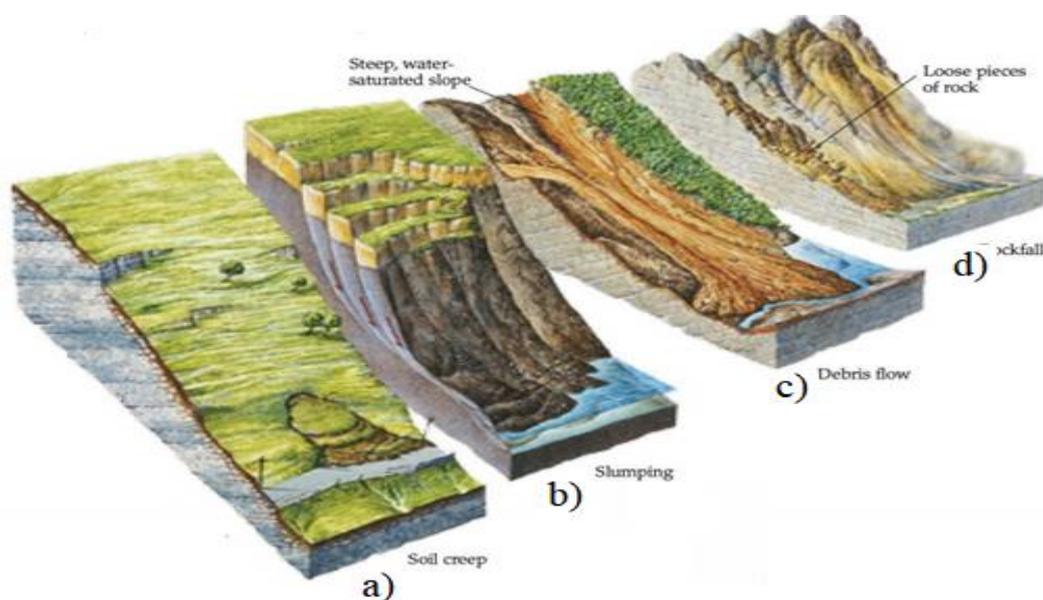


Figura 1 - Movimentos de massa classificados quanto ao tipo e natureza do material: (a) Rastejo; (b) Escorregamento; (c) Corrida de massa e (d) Queda. Fonte: Negrão e Campanha (USP).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado para o município de São Sebastião, que está localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23°50'44''S, 45°51'12''W e 23°38'40''S, 45°22'37''W, a 200 km da capital (Figura 2). A cidade possui

um perímetro aproximado de 401,9 km² e apresenta um clima úmido tropical, com temperaturas médias entre 18° e 26°C, podendo chegar a 38°C nos períodos de verão. Para este estudo, as ilhas foram desconsideradas.

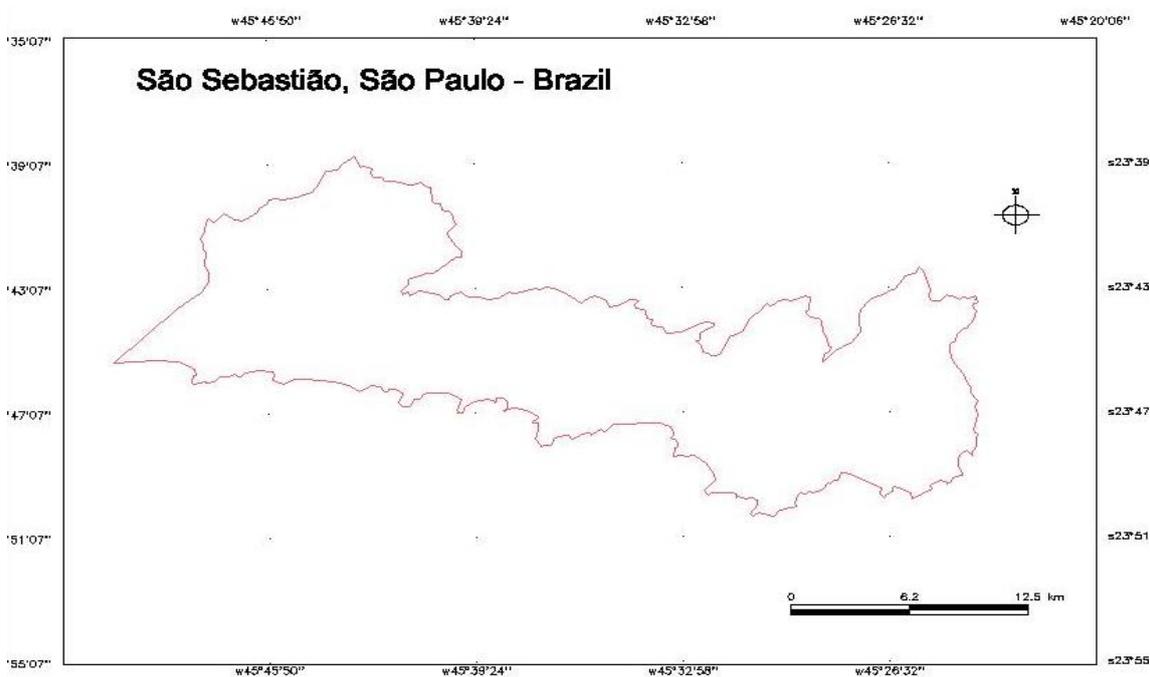


Figura 2 - Limite do município de São Sebastião, no estado de São Paulo, Brasil.

Entre as características físico-naturais que tornam o município suscetível ao movimento de massa do tipo escorregamento, destacam-se as altas declividades da encosta da Serra do Mar, que atuam com a força da gravidade no deslocamento de materiais superficiais que cobrem as rochas, especialmente metamórficas presentes na região, além da intensa distribuição de precipitação anual, que varia entre 1500 e 2500 mm (Crepani e Medeiros, 2000, apud, Bispo et al., 2011).

2.2 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais utilizadas para estimar a suscetibilidade de movimentos de massa em São Sebastião foram: declividade, solos, geologia, geomorfologia e uso e cobertura da terra, presentes no banco de dados geográfico construído por Crepani e Medeiros (2011), em estudos prévios realizados na região.

A declividade ou ângulo de inclinação, é uma variável topográfica que compreende o ângulo vertical formado entre a linha da superfície topográfica da vertente e o plano

horizontal tangente (Muñoz, 2005). Essa variável atua com a força da gravidade na remoção do regolito, ou seja, das camadas soltas de material heterogêneo e superficial que cobrem as rochas sólidas, fazendo com que essas partículas se movam encosta abaixo.

Os ranges de declividade do município de São Sebastião estão apresentados no mapa de temático de declividade da região (Figura 3). Os percentuais mais baixos, entre 0-20%, ocorrem nas baixadas, vales e trechos de planaltos adjacentes às escarpas da Serra do Mar; as escarpas de modo geral encaixam-se no range 20–40% de declividade, e acima de 40 %, predominam os segmentos descontínuos ao longo de toda a escarpa da Serra do Mar (Muñoz, 2005).

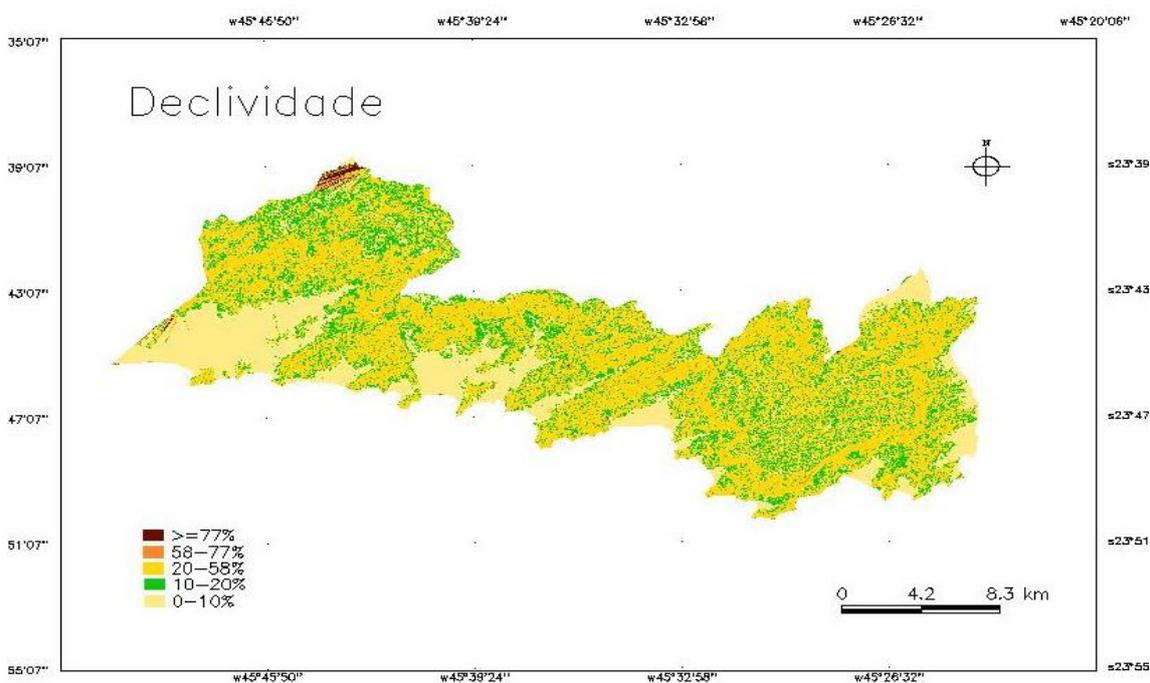


Figura 3 - Mapa temático de declividade do município de São Sebastião, SP

São Sebastião faz parte da zona de província costeira, uma das subdivisões das grandes províncias geomorfológicas do Estado de São Paulo. A Província Costeira é a área do estado que drena diretamente para o mar, constituindo um rebordo de planalto Atlântico que está dividido em duas zonas: Serrania Costaneira e Baixadas Litorâneas, áreas restritas de planícies mais ou menos isoladas, que se apresentam como terrenos não mais elevados que uns 70 m sobre o mar, dispostos em áreas descontínuas à beira-mar (Muñoz, 2005).

Dentre as unidades geomorfológicas existentes, destacam-se os planaltos e escarpas da Serra do Mar, que são rampas ou declives de terrenos que aparecem nas bordas dos Planaltos, Serras etc.; morros e morrotes litorâneos, identificados como montes pouco elevados, cuja altitude varia entre aproximadamente 100 a 200 m; tálus, colúvios e conos de ejeção; planícies fluviomarinha e marinhas, expostas a frequentes inundações, e à dinâmica marinha, regime de maré e erosão costeira.

Também se destacam as praias, que compreendem os depósitos de areias acumuladas pelos agentes de transportes fluviais ou marinhos, composto de cintas anfíbias de grãos de quartzo (Muñoz, 2005). Essas variáveis são apresentadas no mapa do geocampo temático de geomorfologia do município de São Sebastião (Figura 4).

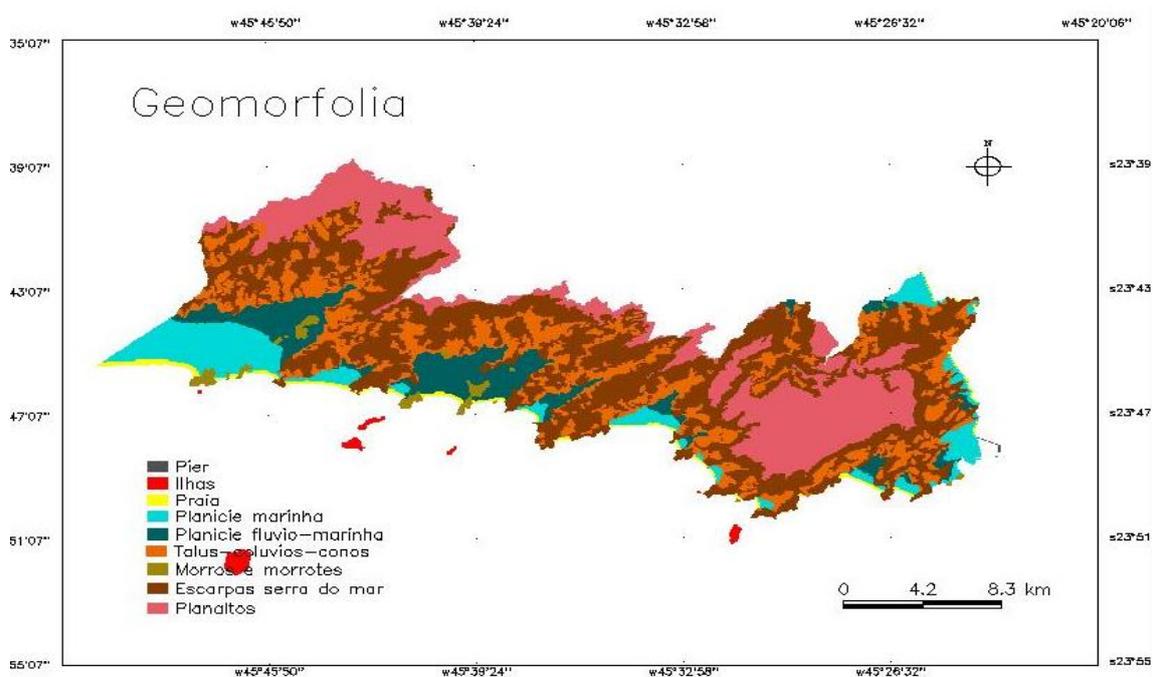


Figura 4 – Mapa temático de geomorfologia do município de São Sebastião, SP

A Serra do Mar, assim como a Serra da Mantiqueira, originou-se de movimentos tectônicos que permitiram o dobramento do escudo cristalino brasileiro e falhamentos, que ocorreram a 70 milhões de anos (Leinz e Amaral, 1975, apud Dias et al., 2016). A região de estudo é recortada por importantes zonas de cisalhamento, como a zona de cisalhamento de Cubatão, zona de cisalhamento dos Freires ou do Bairro Alto, e a zona de cisalhamento de Camburu, que concentram elevada deformação ao longo de um grande transecto, com uma largura relativamente mais curta. As Falhas do Bairro Alto e de

Bertioga, e o Sistema de Cavalgamentos de São Sebastião são as estruturas que mais se destacam na área de interesse (Muñoz, 2005).

O mapa temático de geologia do município de São Sebastião é apresentado na Figura 5. As rochas resistentes do tipo granitos ou gnaisses graníticos, são predominantes nas principais escarpas das Serras do Mar, e as rochas menos resistentes a erosão, são encontradas nos vales subsequentes.

Sedimentos costeiros como areias de praias, dunas, argilas, lamas orgânicas dos mangues e sedimentos detríticos geralmente finos, são predominantes nas zonas de Baixadas Litorâneas. Segundo Teixeira, (1993, apud Muñoz, 2005), em rochas antigas como granitos, migmatitos e granulitos, quanto maior a idade, mais espesso se apresenta o manto de intemperismo.

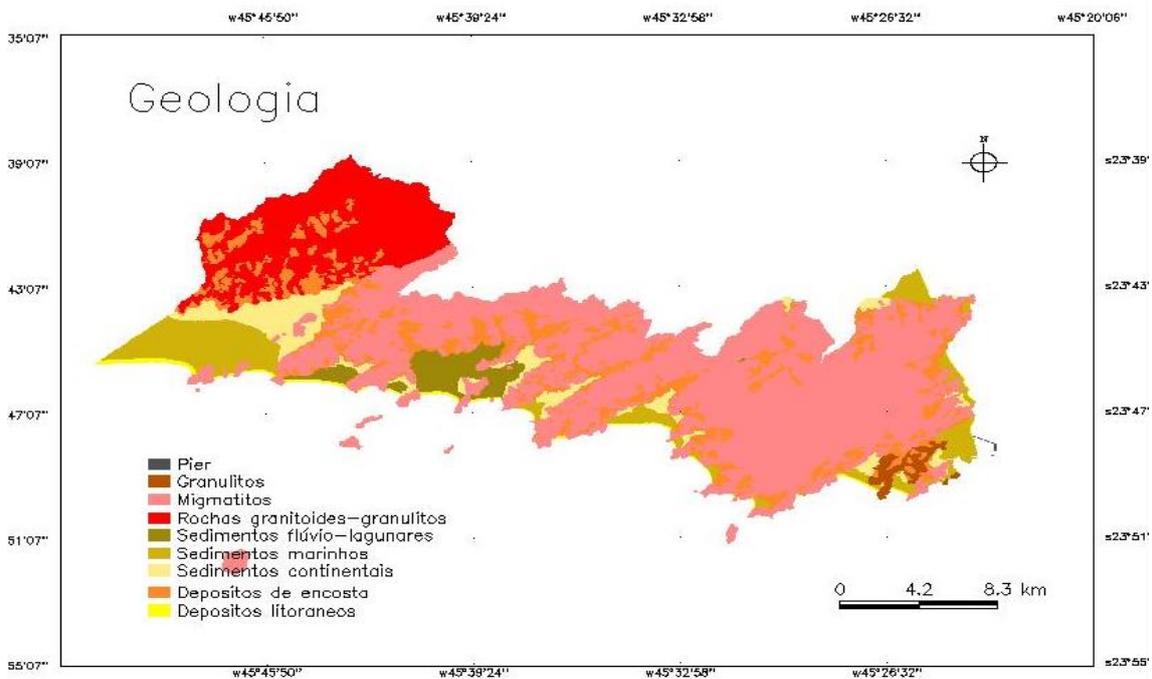


Figura 5 - Mapa temático de geologia do município de São Sebastião, SP

Os materiais superficiais característicos de São Sebastião estão apresentados no mapa temático de solos (Figura 6). Entre os materiais superficiais existentes, destacam-se latossolos vermelho-amarelo, que são solos com horizonte B latossólico que apresentam um avançado estágio de intemperização, devido ao fato de não possuírem minerais primários e secundários em sua composição, e por serem normalmente são muito profundos.

Também são característicos da região os cambissolos, solos com horizonte B incipiente, pouco profundos ou rasos, com ausência de argila acumulada; espodossolos, também conhecidos como podzóis, comum em florestas temperadas; neossolos, solos pouco desenvolvidos, constituídos por material mineral ou orgânico pouco espessos; além de areia da praia, grãos de quartzo, resultantes da desagregação e decomposição das rochas. O mapa de uso e cobertura do solo é apresentado na Figura 7.

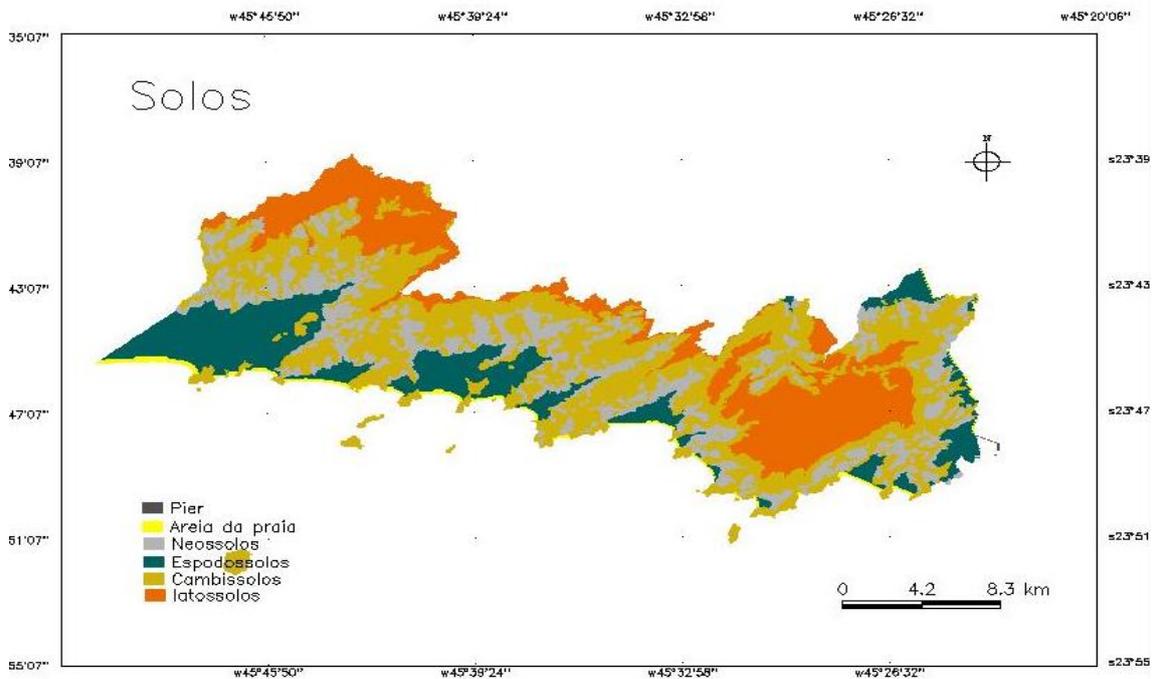


Figura 6 – Mapa temático de solos do município de São Sebastião, SP

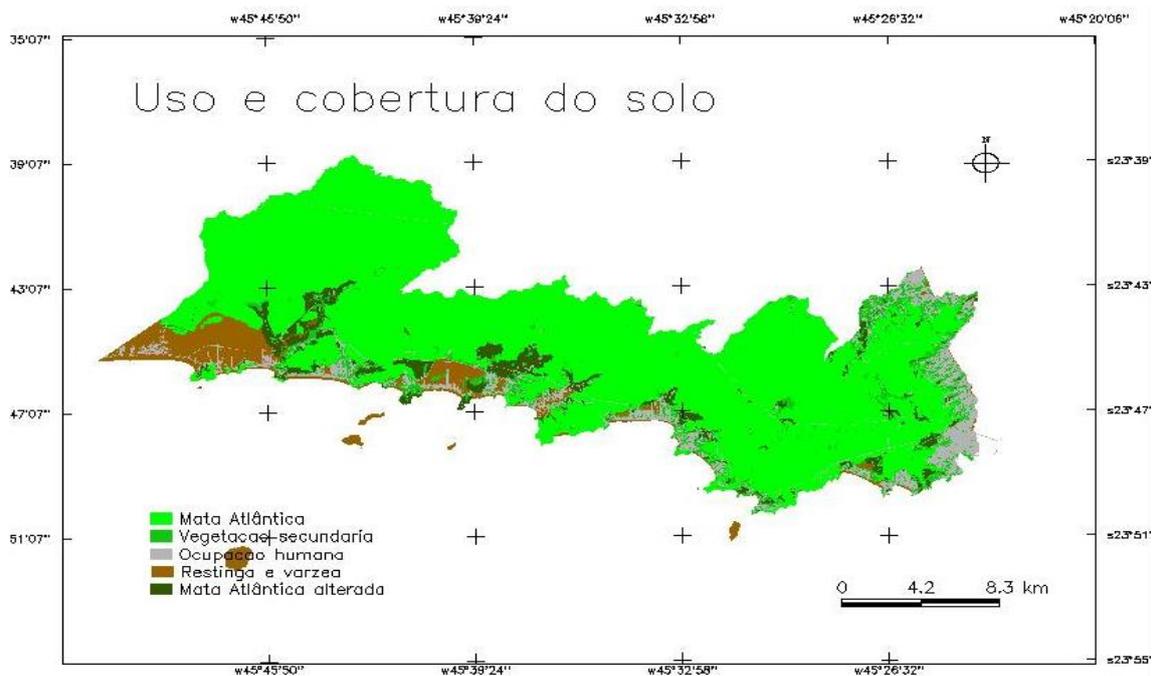


Figura 7 - Mapa temático de uso e cobertura do solo do município de São Sebastião, SP

O uso e cobertura do solo é outra variável importante para esse estudo, pois segundo Muñoz (2005), os diferentes tipos de uso e cobertura do solo podem diminuir o fator de segurança e precipitar o desequilíbrio na região. Dentre os usos e cobertura do solo identificados em São Sebastião, destacam-se os tipos de cobertura natural, como Mata Atlântica, vegetação secundária, restinga e várzea, além da ocupação humana, que é responsável por diversas mudanças na distribuição da matéria e energia dos demais sistemas, podendo modificar seu equilíbrio.

2.2.1 Ferramentas

O processamento dos dados foi realizado no software SPRING, na versão 4.3.3, considerada uma das versões mais estáveis do projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

A álgebra de mapas foi implementada através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), que é uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos temático, modelo numérico de terreno e imagem.

Os mapas presentes nesse estudo foram importados e editados utilizando o software SCARTA 4.3.3, um módulo do software SPRING que permite a apresentação na forma de documentos cartográficos.

2.3 Metodologia

A metodologia empregada para a realização desse estudo seguiu o modelo apresentado no diagrama OMT-G, apresentado na Figura 8.

Inicialmente, foi realizado um fatiamento do modelo numérico de terreno de declividade em cinco categorias, sendo estas “muito alta”, “alta”, “média”, “baixa” e “muito baixo”, conforme os ranges percentuais descritos por Muñoz (2005), os quais foram obtidos por meio de revisão bibliográfica, voltada para o estudo da suscetibilidade a movimento de massa no município de São Sebastião.

Também foi realizada uma reclassificação do mapa de evidência de uso dos solos, utilizando a linguagem LEGAL, a fim de simplificar a modelagem. A partir desses procedimentos, deu-se início à álgebra de mapas, implementada pela linguagem LEGAL.

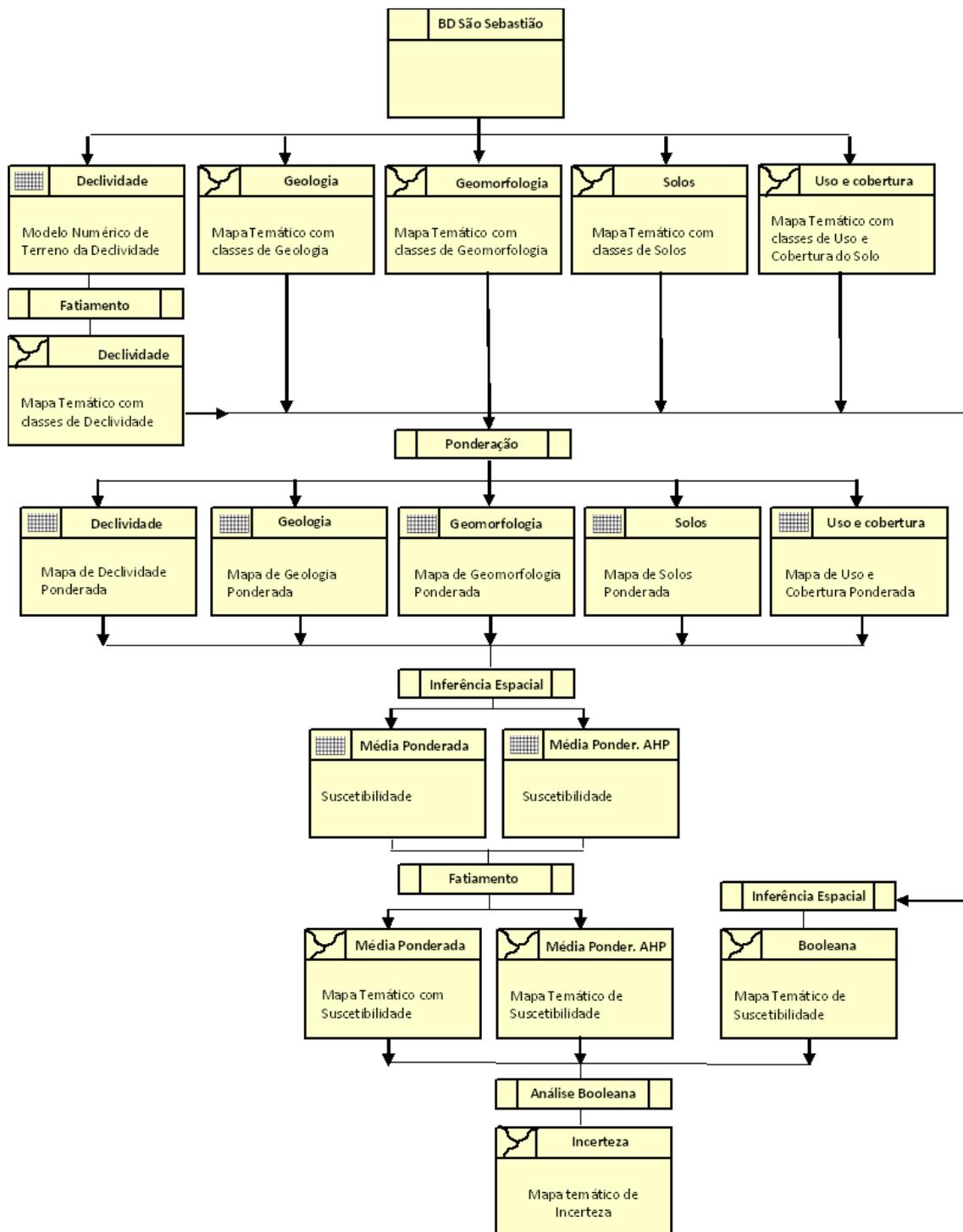


Figura 8 – Modelo OMT-G para execução do trabalho.

2.4 Álgebra de mapas

As técnicas de inferência espacial são ferramentas muito utilizadas para integração de dados espaciais de diversas fontes e formatos, com o objetivo de modelar um determinado fenômeno, a partir da construção de cenários por meio de modelos empíricos de SIG (Muñoz, 2005; Camargo et al., 2007, apud Bispo et al., 2011, p. 470). Um modelo de SIG realiza a combinação de diversos mapas de entrada, gerando um mapa de saída por meio de uma função (Bonham-Carter, 1994, apud Bispo et al., 2011, p. 470).

Esse processo resulta em planos de informação com diferentes representações, que podem ser temáticas, numéricas, entre outras (Muñoz, 2005; Camargo et al., 2007, apud Bispo et al., 2011, p. 470). Os métodos de inferência espacial adotados nesse estudo, estão descritos a seguir.

2.4.1 Inferência booleana

A análise booleana é um método muito difundido por ter uma abordagem simples e de fácil aplicação, que compreende a combinação lógica de mapas binários. Nessa lógica, cada mapa é utilizado como um plano de informação ou evidência, que ao ser combinado com demais mapas por meio de operadores condicionais, dá suporte a uma hipótese ou decisão.

Os operadores lógicos utilizados na álgebra booleana são “E”, “OU”, “NÃO” e “XOR”, conforme mostrado no diagrama de Venn (Figura 9). O operador “E” é utilizado para retornar a intersecção entre dois ou mais conjuntos, o operador “OU” é utilizado para retornar a união entre conjuntos, o operador “NÃO” é utilizado para identificar entidades que pertençam a um conjunto, mas não pertençam a outro, e o operador “XOR” apresenta as entidades que pertencem a um conjunto e outro, mas não aos dois conjuntos simultaneamente.

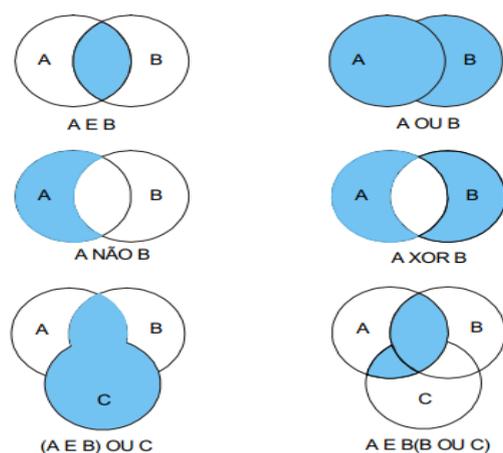


Figura 9 - Diagrama de Veen - aplicação de operadores de lógica *booleana* para dois ou mais conjuntos (Burrough & McDonnell, 1998, apud Câmara et al., 2001).

Os resultados gerados por esse método são expressos de forma binária, em que uma hipótese pode ser satisfeita, ou não satisfeita, excluindo-se a possibilidade de uma resposta talvez, ou intermediária. Por atribuir importâncias iguais para cada critério a ser combinado, Câmara et al. (2001) afirmam que esse método pode não ser considerado o mais adequado dentre os métodos de inferência espacial, já que em muitos casos, o ideal é que as evidências sejam ponderadas de acordo com sua importância relativa.

A lógica booleana foi aplicada nesse estudo, através das combinações das variáveis declividade, solos, geologia, geomorfologia e uso dos solos, utilizando os operadores booleanos “E” e “OU”, resultando um mapa temático com as classes de suscetibilidade do tipo “muito alta”, “alta”, “média”, “baixa” e “muito baixo”.

2.4.2 Média ponderada

Diferente na análise booleana, a média ponderada é um método que permite maior flexibilidade na combinação de mapas. Neste método, cada mapa de entrada é utilizado como uma evidência, onde cada plano de informação e suas respectivas classes recebem um peso diferente de acordo com sua importância para a hipótese em questão.

A aplicação desse método é realizada primeiramente pela ponderação das classes de cada plano de informação, segundo os pesos definidos empiricamente, e então são somados por meio de uma soma ponderada. O resultado desse método é um mapa com

áreas que expressam um grau de importância relativa através dos valores numéricos de saída (Câmara et al., 2001).

Para realização da inferência média ponderada neste estudo, primeiramente, cada classe dos planos de informação foi ponderada de acordo com sua importância. Para este procedimento, adotou-se os pesos determinados por Muñoz (2005). Dessa forma, foi realizada a operação de transformação de um mapa de entrada do tipo temático, para um mapa de saída do tipo numérico, utilizando-se a linguagem LEGAL.

Com todos os mapas ponderados, foi realizada a inferência média ponderada, considerando os pesos aproximados ao informado por Muñoz (2005), apresentados na Tabela 1, apenas desconsiderando apenas o peso atribuído a variável hidrologia, uma vez que essa variável não foi considerada para esse estudo.

Tabela 1 - Pesos utilizados na inferência média ponderada simples

Categoria	Pesos (Muñoz, 2005)*	Rank
Declividade	0.46	1
Geomorfologia	0.26	2
Geologia	0.17	3
Solos	0.09	4
Uso e cobertura do solo	0.02	5

*Pesos adaptados

A média ponderada foi realizada utilizando Equação 2.

$$sMD = (0,46 * dc) + (0,26 * gm) + (0,17 * ge) + (0,09 * sl) + (0,02 * us) \quad (2)$$

Onde *sMD* é suscetibilidade a movimento de massa por inferência média ponderada, *dc* é declividade, *gm* é a geomorfologia, *ge* é geologia, *sl* é solos e *us* significa uso e cobertura do solo. Após a realização da inferência média ponderada, o mapa resultante foi fatiado em diferentes classes: “muito alta”, “alta”, “média”, “baixa” e “muito baixo”.

2.4.3 Média ponderada com suporte AHP

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma metodologia de modelagem multi-critério que se baseia na lógica de comparação pareada desenvolvida por Thomas Saaty em 1978. Essa metodologia permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos, por meio da estruturação de um modelo hierárquico, e um processo de comparação pareada, de acordo com a importância relativa entre dois critérios, com relação ao critério no nível superior. Com base na comparação, a AHP pondera todos os sub-critérios e critérios e calcula um valor de razão de consistência entre [0, 1], com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento (Câmara et al., 2001).

A atribuição de pesos a cada plano de informação, é realizado construindo-se uma matriz das importâncias relativas de cada um desses critério, usando uma escala de 1 a 9, onde 1 representa igual valor entre os critérios, e 9 alto grau de favoritismo de um em relação ao outro. Os pesos obtidos com o suporte AHP estão apresentados na conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Pesos obtidos pelo suporte AHP para inferência média ponderada

Categoria	Pesos segundo AHP	Rank
Declividade	0.446	1
Geologia	0.194	2
Geomorfologia	0.187	3
Solos	0.092	4
Uso e cobertura do solo	0.046	5
<i>Razão de consistência</i>	<i>RC= 0,071</i>	

A inferência média ponderada foi realizada novamente, utilizando os pesos obtidos com o suporte AHP, segundo a Equação 3.

$$sAHP = (0,446 * dc) + (0,187 * gm) + (0,194 * ge) + (0,092 * sl) + (0,046 * us) \quad (3)$$

Onde *sAHP* é suscetibilidade a movimento de massa por média ponderada com suporte AHP, *dc* é declividade, *gm* é a geomorfologia, *ge* é geologia, *sl* é solos e *us*

significa uso e cobertura do solo. Após a realização da inferência média ponderada, o mapa resultante foi fatiado em diferentes classes: “muito alta”, “alta”, “média”, “baixa” e “muito baixa”. A razão de consistência (CR) encontrada foi de 0,071, sendo considerada adequada para esse estudo. Segundo Silva (2007), se o índice de consistência for menor do que 0.1, considera-se que há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Entretanto, se for maior do que 0.1, é recomendado que os julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de suscetibilidade ao movimento de massa, resultante da inferência booleana, é apresentado na Figura 10. Pode-se verificar a predominância de áreas de “muito baixa” e “média” suscetibilidade, além de algumas pequenas regiões com suscetibilidade do tipo “muito alta”. Esses resultados revelam que não é possível obter uma discriminação detalhada das diferentes classes de suscetibilidade, por meio da análise booleana, o que é coerente com a afirmação feita por Bispo et al. (2011).

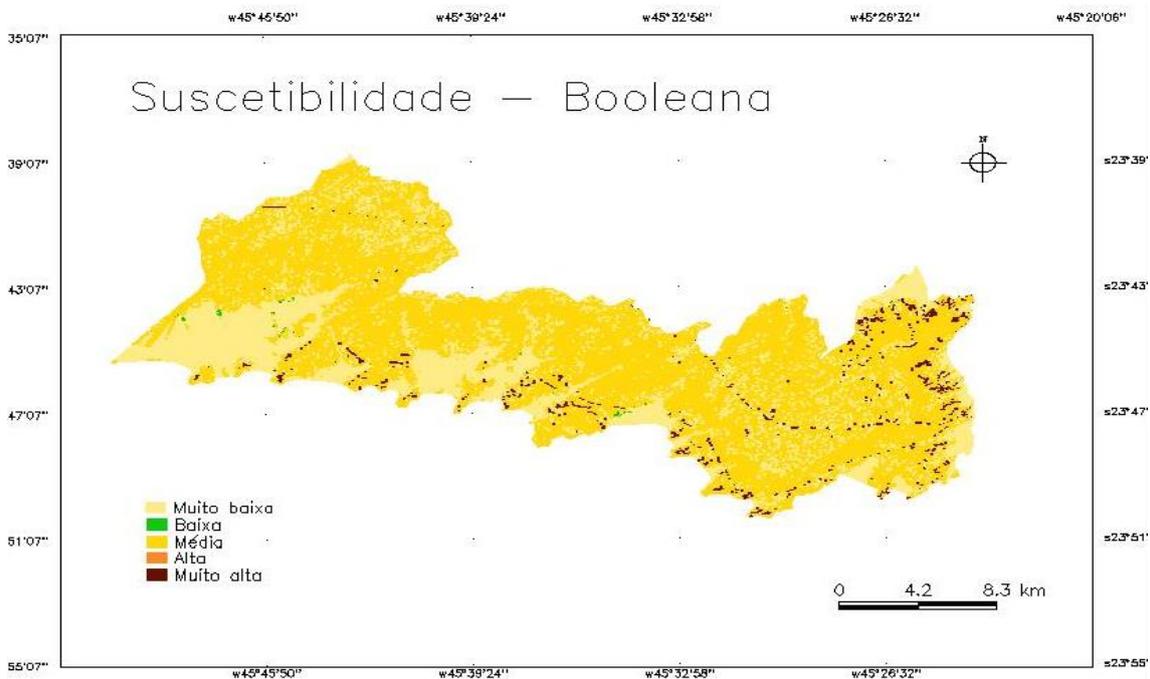


Figura 10 - Mapa de suscetibilidade resultante da inferência booleana

Segundo os autores, a inferência booleana é uma técnica bastante restritiva, por ser realizada apenas a partir da combinação lógica de mapas coropléticos, elaborados com

dados qualitativos, sendo provável que algumas classes sejam subestimadas ou superestimadas, e que outras sejam suprimidas de determinado cenário.

Os mapas resultantes das inferências por média ponderada e média ponderada com suporte AHP são apresentadas na Figura 11 e 12 respectivamente. Pode-se observar que, a inferência média ponderada permitiu a melhor discriminação das classes de suscetibilidade a movimento de massa, diferente do resultado apresentado pela inferência booleana. Isso se deve aos diferentes pesos atribuídos para cada plano de informação, de acordo com seu respectivo grau de importância. Os resultados evidenciam que as regiões de escarpas da Serra do Mar, de alta declividade, possuem alta suscetibilidade à movimentos de massa.

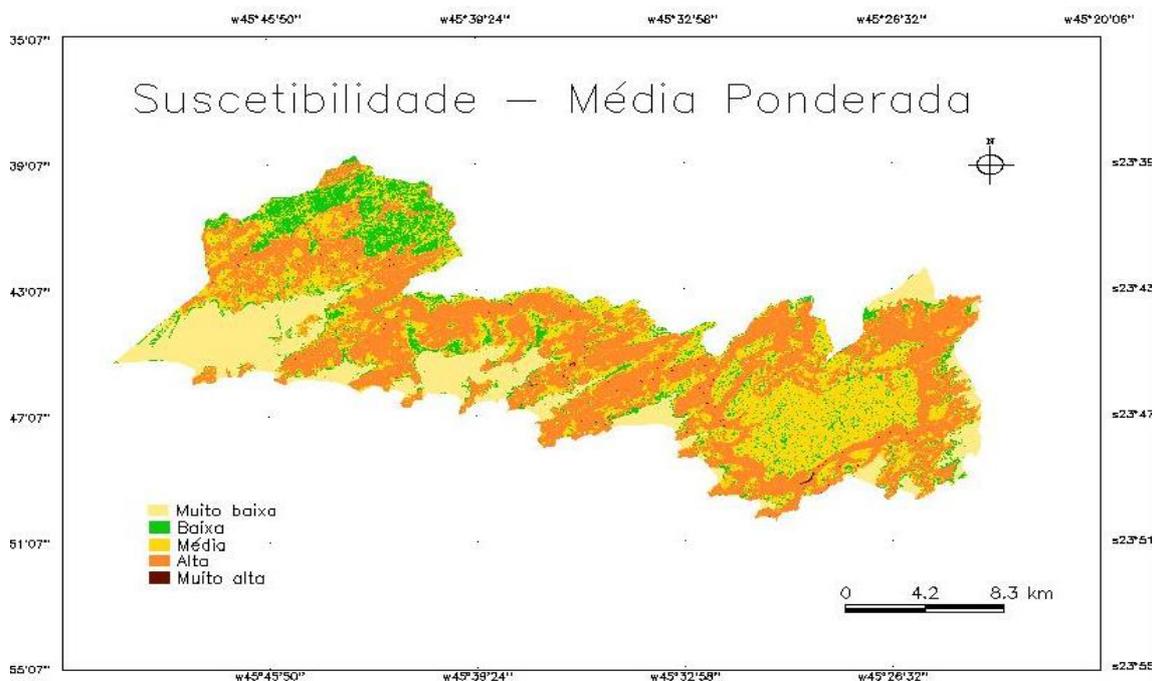


Figura 11 - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa resultante da inferência espacial por média ponderada

Muñoz (2005) explica que não é possível afirmar que exista uma técnica de inferência espacial melhor do que a outra, pois determinadas inferências podem ser mais ou menos úteis dependendo do trabalho em questão. Entretanto, é possível observar a diferença entre técnicas qualitativas, como a análise booleana, e técnicas quantitativas, como a média ponderada, pois inferências espaciais quantitativas tendem a diminuir ambiguidades, o que foi observado claramente nesse estudo.

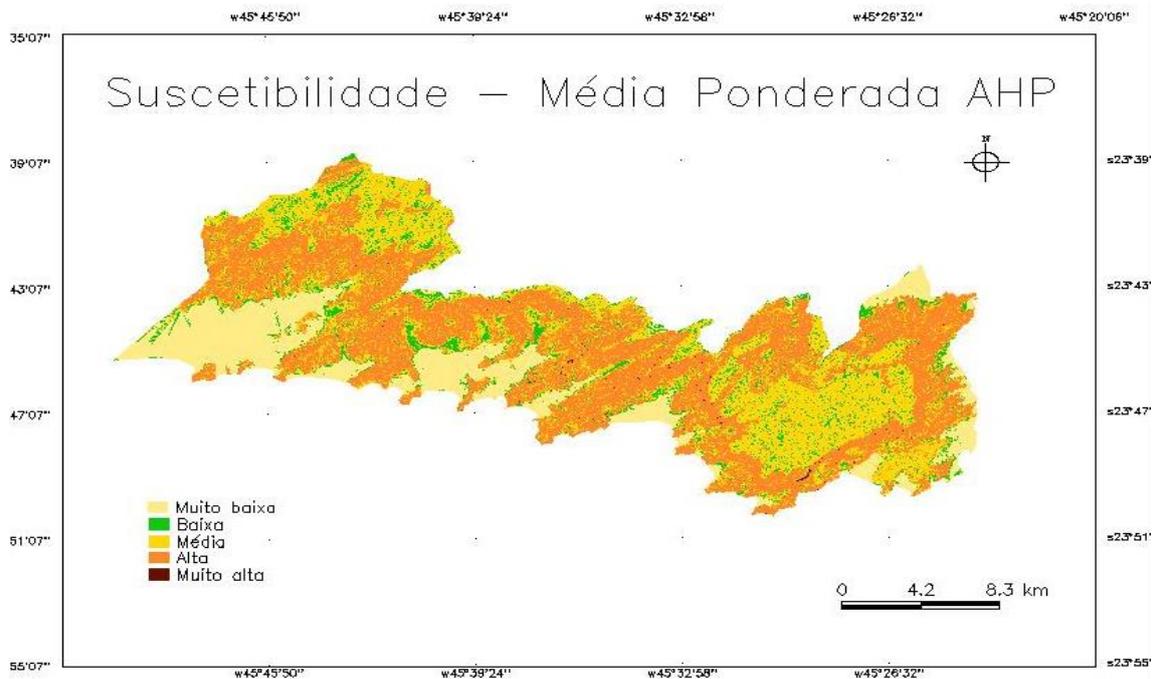


Figura 12 - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa, resultante da inferência espacial por média ponderada com suporte AHP

Analisando as suscetibilidades obtidas por média ponderada fazendo uso da AHP como suporte para escolha dos pesos, verificou-se que, algumas regiões que foram consideradas de baixa suscetibilidade pela inferência de média simples utilizando os pesos determinados pela literatura, agora foram consideradas de média suscetibilidade, especialmente regiões de planalto; além disso, algumas regiões de escarpas de Serra do Mar foram consideradas como regiões de alta suscetibilidade. A pouca diferença nos resultados é devido ao fato do procedimento realizado no suporte AHP levar em conta a importância de cada classe determinada pela literatura; de qualquer forma, a melhora no resultado revela que o auxílio AHP resultou em uma suscetibilidade um pouco mais acurada (ou pessimista).

Realizando uma sobreposição dos mapas de suscetibilidade a movimento de massa, resultante das inferências booleana, média ponderada e média ponderada com suporte AHP para auxílio na escolha dos pesos, foi obtido o mapa de incerteza apresentado na Figura 13.

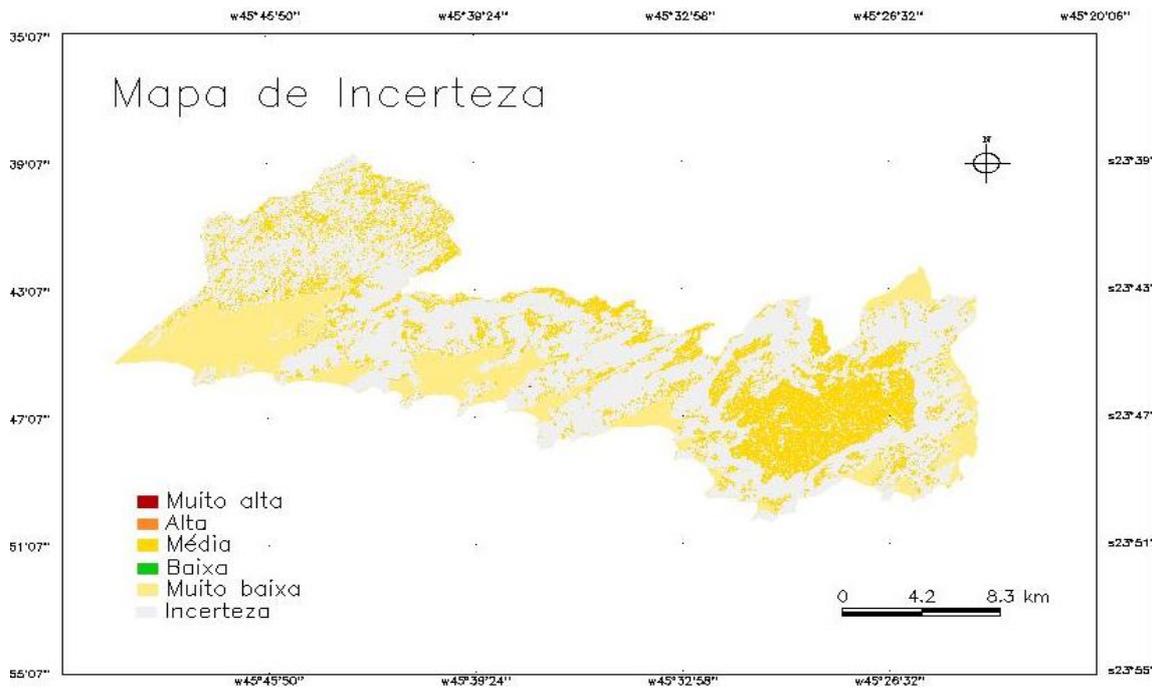


Figura 14 - Mapa de incerteza, avaliando as classes de suscetibilidades obtidas com as inferências espaciais consideradas para esse estudo.

Analisando o mapa de incerteza, pode-se verificar que, de acordo com os resultados das inferências espaciais realizadas para este estudo, as regiões de planície ao sul do município de São Sebastião possuem muito baixa suscetibilidade a movimentos de massa, e algumas regiões de planalto e escarpas de Serra do Mar apresentam média suscetibilidade; entretanto, ainda existem incertezas quanto às classes de suscetibilidade das demais regiões, que podem ser melhor determinadas utilizando metodologias de classificação contínua.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização dessa monografia permitiu a compreensão da importância dos SIGs e dos métodos inferência espacial, na estimativa de cenários de suscetibilidade a movimento de massa, que possuem grande importância para tomada de medidas preventivas em áreas de risco.

Através dos mapas resultantes das inferências espaciais booleana, média ponderada simples e média ponderada com suporte AHP, concluiu-se que a inferência booleana apresenta resultados limitados, por ter uma lógica restrita a um resultado que satisfaça ou não a uma condição, que não é muito representativo da realidade.

A inferência média ponderada, por sua vez, permite maior flexibilidade na combinação dos mapas, pois a atribuição de pesos de acordo com o grau de importância de uma variável, se aproxima mais da realidade, além disso, o suporte AHP mostra-se como uma ferramenta eficiente que pode gerar resultados mais acurados, devido a forma criteriosa de escolha de pesos.

5 REFERÊNCIAS

BISPO, P. C., ALMEIDA, C. M., VALERIANO, M. M. Análise de suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Revista Geociências, UNESP**, v. 30, n.3, p. 467 – 478, 2011. Disponível em: <https://goo.gl/WDeLSo>. Acesso em: 14 abr 2018.

CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. M. **Introdução à ciência da geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 10506-RPQ/249. 2001. Disponível em: <https://goo.gl/y8AqEt>. Acesso em: 14 abr 2018.

CEMADEN. **Movimentos de Massa**. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. 2017. Disponível em <https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>. Acesso em: 07 mai 2018.

DIAS, V., FISCH, G., FISCH, S. T. V. Simulações de clima futuro no domínio da mata atlântica: transecto Ubatuba, SP e Extrema, MG, Brasil. **Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. 2016. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/928/92852596003/>. Acesso em: 26 abr 2018.

FLACH, C., MEURER, M. Inventário de movimentos de massa em Arroio do Padre/RS. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. 2018. Campinas, SP. Disponível em: <http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2534>. Acesso em: 5 mai 2018.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. Disponível em <https://goo.gl/k4bh6M>. Acesso em: 04 jun 2018.

JUNIOR, C. H. L. S., BEZERRA, D. S., ANDERSON, L. O. Zoneamento da suscetibilidade a deslizamentos induzidos com base na lógica fuzzy e no processo analítico hierárquicos (AHP): o caso da bacia hidrográfica do Rio Anil, São Luís - Ma. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 68/9, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos. 2016. Disponível em: <https://goo.gl/Vh8Uni>. Acesso em: 20 mai 2018.

MUÑOZ, V. A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, SP, Brasil.** Monografia de especialização do XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica. INPE, 2005.

NEGRÃO, A. CAMPANHA, G. **Processos em Encosta.** Universidade de São Paulo, Instituto de Geociência, USP. Disponível em: <https://goo.gl/st8SAi>. Acesso em: 7 jun 2018.

OLIVEIRA, E. D. A. **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: Zoneamento e Hierarquização.** 2004. 147 p. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11321/000474761.pdf?sequence=1>. Acesso em 14 abr 2018.

PRIETO, C. C., MENDES, R. M., SIMÕES, S. J. C. Comparação entre a aplicação do modelo Shalstab com mapas de suscetibilidade e risco de deslizamentos na bacia do córrego Piracuama em Campos do Jordão, SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/1, Edição Especial Geotecnologias e Desastres Naturais: 71-78 p. 2016.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais.** Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_1.PDF Acesso em: 01 jun 2018.

SOTHE, C., CAMARGO, E. C. G., GERENTE, J. Uso de modelo aditivo generalizado para análise espacial da suscetibilidade a movimentos de massa. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, v. 34, p. 68-81, 2017.