



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



**AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE AOS
MOVIMENTOS DE MASSA NA REGIÃO DE SÃO
SEBASTIÃO-SP COM O USO DE TÉCNICAS DE
INFERÊNCIA ESPACIAL**

Rodolfo Georjute Lotte

Monografia exigida para a obtenção parcial de nota na disciplina de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300-3)

URL do documento original:

<<http://urlib.net/>>

RESUMO

A suscetibilidade a movimentos de massa são eventos naturais desencadeados normalmente pela influência dos fatores climáticos existentes em determinadas regiões, sendo favorecida também pelos fatores endógenos, tais como declividade, tipo, uso e cobertura do solo, geologia, entre outros fatores. Os impactos pela ocorrência do evento são devastadores quando ligados, principalmente, aos deslizamentos de terra, que compreendem os movimentos rápidos de massa, tornando o monitoramento e previsão desses eventos uma tarefa essencial para a prevenção dos desastres causados pela ocorrência do efeito. Portanto, neste trabalho é abordado o uso das técnicas de inferência espacial booleana, média ponderada, média ponderada com suporte AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e *Fuzzy-Gama* para a avaliação das regiões suscetíveis a movimentos de terra no município de São Sebastião-SP, levando em consideração as variáveis ambientais de declividade, geomorfológicas, geológicas, solos, uso, cobertura e índice de saturação do solo (*Topographic Wetness Index* - TWI) da respectiva região.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Localização da área de estudo. Limite do município de São Sebastião no estado de São Paulo.	3
2.2 Geocampo temático de Declividade do município de São Sebastião-SP no SPRING.	5
2.3 Geocampo temático de Geomorfologia do município de São Sebastião-SP no SPRING.	6
2.4 Geocampo temático de Geologia do município de São Sebastião-SP no SPRING.	6
2.5 Geocampo temático de Solos do município de São Sebastião-SP no SPRING.	7
2.6 Geocampo temático de Cobertura e Uso do Solo do município de São Sebastião-SP no SPRING.	7
2.7 Fluxo de aquisição do TWI por meio do <i>software</i> WhiteBox GAT.	8
2.8 Geocampo temático no SPRING após o fatiamento do <i>Topographic Wetness Index</i> (TWI).	8
2.9 Diagramas de Venn demonstram as principais operações lógicas booleanas em relação a dois elementos.	9
3.1 Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência booleana.	12
3.2 Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da (a) inferência por média ponderada simples e (b) média ponderada com suporte AHP.	13
3.3 Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência pelo método <i>Fuzzy-Gama</i> . (a) $\gamma = 0.60$. (b) $\gamma = 0.65$	14
3.4 Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência pelo método <i>Fuzzy-Gama</i> . (a) $\gamma = 0.70$. (b) $\gamma = 0.75$	15
3.5 Mapa de incerteza. Avaliação da variação das classes de suscetibilidade entre os diversos cenários <i>Fuzzy-Gama</i>	15
5.1 Modelo OMT-G apresentando as etapas e os modelos conceituais dos dados utilizados.	20

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Matriz com o grau de relação das respectivas variáveis.	10
2.2 Média Ponderada por AHP. Pesos estimadas a partir das combinações pareadas.	11

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos dinâmicos causados, principalmente, pelos efeitos da natureza e desencadeados com maior frequência em determinados ciclos climáticos. Por vezes, os eventos de movimento de massa podem ocorrer em maiores dimensões de modo a causar danos irreparáveis, tanto a natureza quanto humana.

Os principais fatores naturais que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa podem ser divididos em fatores endógenos, como a geologia do local (e.g. tipo do solo ou rocha), as características geomorfológicas (forma do terreno), declividade, ou uso do solo; e fatores exógenos, que implica nas diferentes variáveis climáticas, nos fatores resultantes das ações humanas, entre outros.

Os movimentos de massa podem ser classificados a partir de diferentes características do movimento gravitacional do regolito¹, tais como o tipo e a velocidade do movimento, a natureza do material e a quantidade de água presente no material em movimento. Assim, os movimentos relacionados às encostas podem ser classificados e: Rastejo, que consiste em movimentos mais lentos do regolito; Escorregamento ou deslizamento, relacionado aos movimentos rápidos, com planos de ruptura bem definidos entre o material movimentado e não-movimentado; Corridas de massa, em que o solo propício ao movimento apresenta-se saturado de água, tal que a massa encharcada pode comportar-se como um fluido altamente viscoso e deslocar-se rapidamente; As quedas, estão relacionadas aos movimentos de blocos e fragmentos de rochas a partir de regiões com declividade acentuada. Os fragmentos se movimento ao longo de planos inclinados sem necessariamente a presença de uma superfície de deslizamento (CREPANI; MEDEIROS, 2001). Os eventos de maior ocorrência na área de estudo em questão são do tipo escorregamento ou deslizamentos e, portanto, considerados objetos de estudo neste trabalho.

O geoprocessamento vem sendo amplamente utilizado para a avaliação e estudo de eventos ambientais, principalmente, na predição de desastres e mapeamento de áreas de risco. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo tanto identificar as áreas com suscetibilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião, litoral norte do estado de São Paulo, como realizar o estudo comparativo entre diferentes técnicas de inferência espacial, utilizando Sistemas de Informação Geográficas (SIG), em especial o SPRING, neste caso, as inferências por Análise Booleana, Média Ponderada, Média Ponderada (AHP) e Lógica *Fuzzy*.

¹Camada de sedimentos resultantes da fragmentação de rochas subjacentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo situa-se na porção norte do litoral do estado de São Paulo, no município de São Sebastião (Figura 2.1), região do Alto Vale do Paraíba. A região de estudo esta localizada nas coordenadas geográficas $23^{\circ} 55'$ de latitude Sul e o $45^{\circ} 19'$ de longitude Oeste. O município de São Sebastião possui aproximadamente 80.000 mil habitantes, concentrados em uma área de 400km^2 e densidade demográfica de $185\text{hab}/\text{km}^2$ ((IBGE), 2014). O presente estudo é realizado em toda a área de São Sebastião, incluindo suas ilhas.

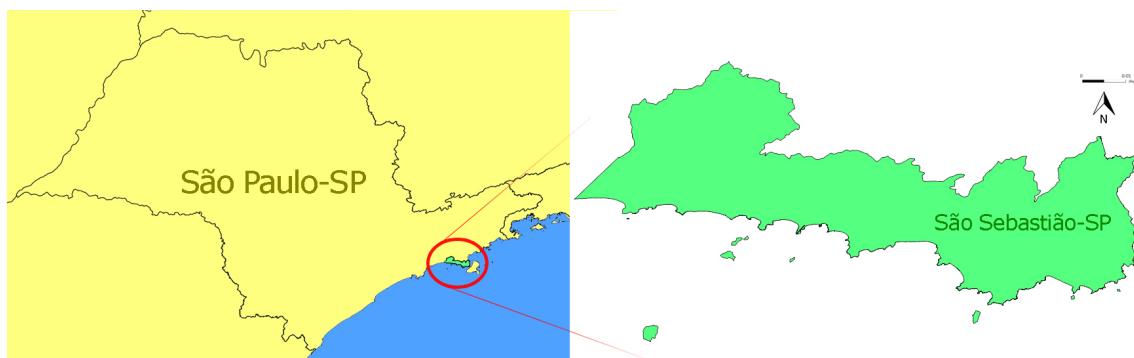


Figura 2.1 - Localização da área de estudo. Limite do município de São Sebastião no estado de São Paulo.

A declividade possui influência direta na velocidade de deslocamento de materiais, portanto, considerada o principal fator dentre aqueles que predisõem os movimentos de massa. Além desse, as rochas metamórficas, aquelas que são formadas por meio de transformações de outras rochas quando submetidas a pressões internas ou a temperaturas elevadas, o uso e os tipos de solo da região, a geomorfologia, fatores climáticos, entre outros podem ser considerados na avaliação, aumentando assim a precisão das inferências.

2.2 Dados

A pesquisa quanto a avaliação aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP por meio de técnicas de inferência espacial foi iniciada por Crepani e Medeiros (2000) com o uso das variáveis ambientais de declividade, geomorfologia, geologia, solos e uso do solo, assim como em Muñoz (2005). Bispo et al. (2009) realizaram

o estudo dos movimentos de massa na mesma região com a inclusão das variáveis geomorfológicas curvatura vertical (kv) e curvatura horizontal (kh). A fim de intensificar os resultados no estudo, neste trabalho será acrescentado ao modelo o índice TWI, que consiste na apresentação dos níveis de saturação do solo, considerado também um importante fator de disparo para o evento.

Portanto, parte das variáveis ambientais utilizadas neste estudo foram adquiridas no estudo realizado por Crepani e Medeiros (2000), gentilmente cedidas pelos autores. O índice TWI é adquirido por meio da sequência de processamentos sob os dados de altimetria obtidas a partir do TOPODATA (TOPODATA, 2014). A sequência é detalhada na seção seguinte.

2.3 Metodologia

A aplicação das técnicas de inferência, a edição dos planos de informações gerados pelo processamento, bem como a montagem e manipulação do banco de dados que os compõem foram realizados no *software* SPRING 5.2.6, Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas¹, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As inferências foram realizadas por meio da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL)².

As variáveis ambientais que dizem respeito as características geológicas, geomorfológicas, de solo, uso do solo e declividade, foram extraídas do banco de dados do estudo realizado por Crepani e Medeiros (2000). Além disso, foi introduzido no modelo uma nova variável que remete ao nível de saturação do solo, denominado *Topographic Wetness Index* (TWI). O índice é adquirido por meio do dado de Altimetria da região de estudo, disponibilizados pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005)³. Para a aquisição do índice a partir do dado de altimetria, é necessário uma sequência de operações que podem ser visualizadas na Figura 2.7. Para as respectivas operações foi adotado o uso do *software* Whitebox GAT 3.2.0⁴.

Para o mapa de declividade foram agregados 5 diferentes classes conforme sugerido por Crepani e Medeiros (2000), em que são determinados as classes: Muito Alta (MA); Alta (A); Média (M); Baixa (B) e Muito Baixa (MB). Da mesma forma, cada uma das categorias de suscetibilidade adquiridas pelos métodos de inferência foram classificadas de modo equivalente, justamente pelo fator declividade ser fortemente

¹Disponível em: www.dpi.inpe.br/spring

²Disponível no *software* SPRING 5.2.6

³Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>

⁴Disponível em: <http://www.uoguelph.ca/~hydrogeo/Whitebox>

relacionado aos movimentos de massa.

2.4 Variáveis ambientais

Parte das variáveis utilizadas neste trabalho foram adquiridas no estudo anteriormente realizado por [Crepani e Medeiros \(2000\)](#). Sendo assim, as variáveis que descrevem as características de Declividade, Geomorfologia, Geologia, Solos e Cobertura e Uso do Solo, são melhores detalhadas no respectivo trabalho e serão apresentadas aqui somente como forma de visualização de suas características.

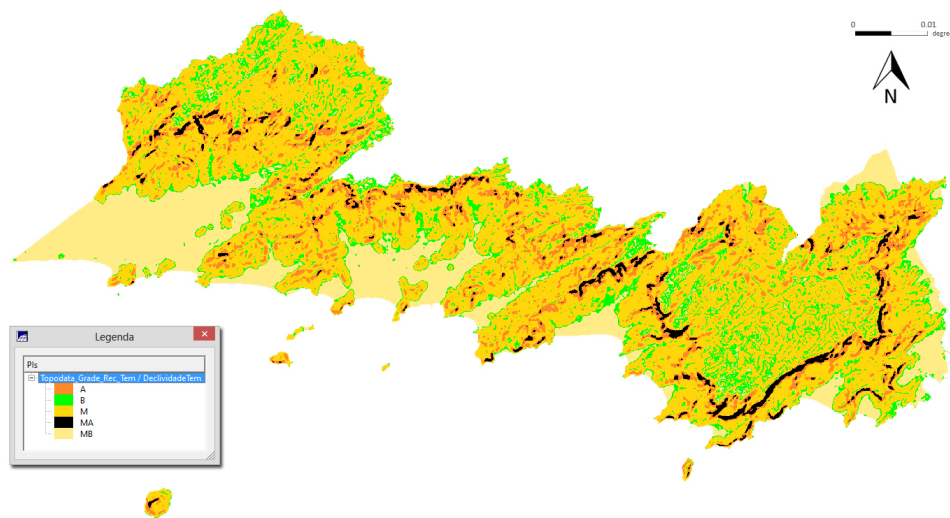


Figura 2.2 - Geocampo temático de Declividade do município de São Sebastião-SP no SPRING.

2.4.1 *Topographic Wetness Index - TWI*

O índice de saturação do solo ou TWI representa o nível de saturação de água que um tipo específico de solo possui. O conceito foi apresentado primeiramente por ([BEVEN; KIRKBY, 1979](#)). O índice permite quantificar o controle da topografia local quanto aos processos hidrológicos e indica a distribuição espacial da umidade do solo e saturação da superfície. Utilizado, comumente, na caracterização de similaridade hidrológica ([BEVEN; KIRKBY, 1979](#); [MOORE et al., 1993](#)), sendo, portanto, um importante indicador para a modelagem de processos geográficos relacionados à topografia em escala de captação.

O cálculo do índice TWI é obtido, a princípio, por meio do modelo digital de elevação

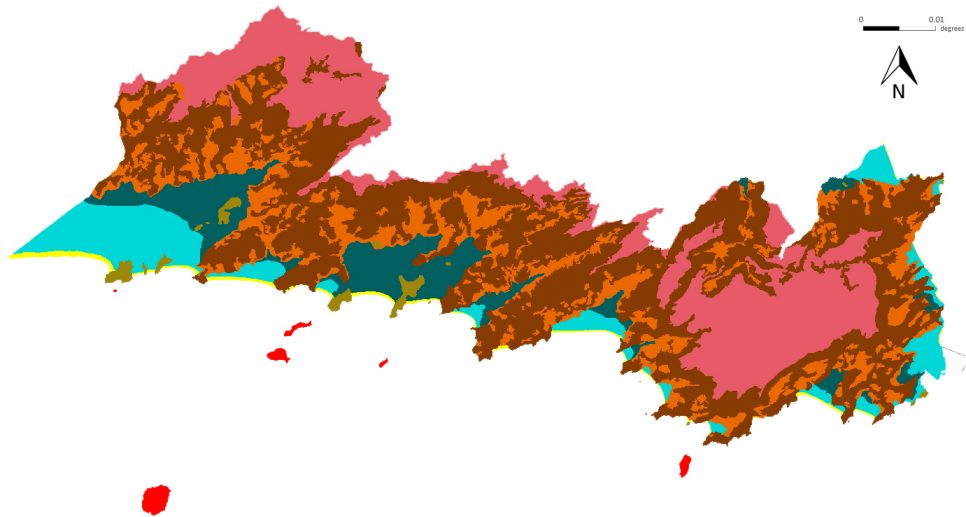


Figura 2.3 - Geocampo temático de Geomorfologia do município de São Sebastião-SP no SPRING.

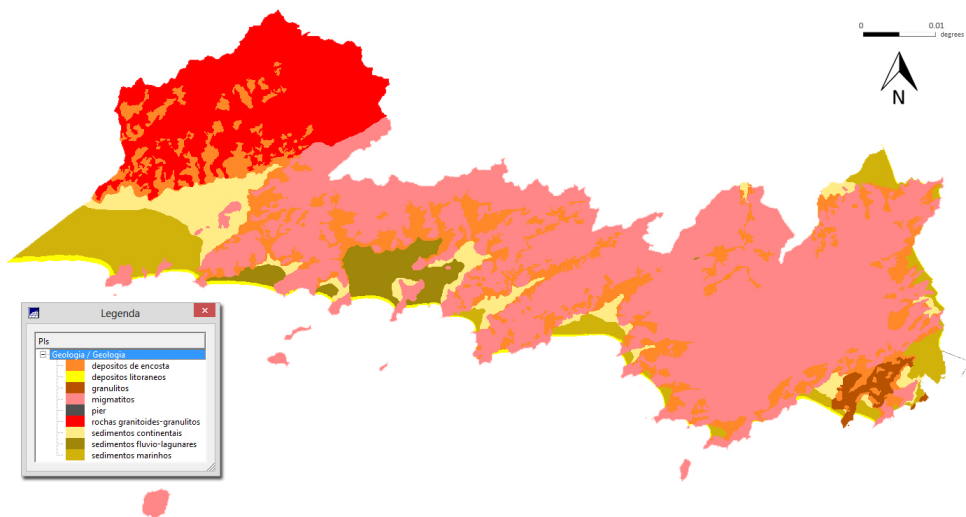


Figura 2.4 - Geocampo temático de Geologia do município de São Sebastião-SP no SPRING.

(*Digital Elevation Model* - DEM). Por definição, o TWI é dado por:

$$TWI = \ln \left(\frac{\alpha}{\tan \beta} \right) \quad (2.1)$$

em que α é a área de captação (*Specific Catchment Area* - SCA), estimada utilizando algoritmos de fluxo de acumulação, como o determinísticos de 8 direções (D8) (CALLAGHAN; MARK, 1984). E β , o mapa de declividade da mesma região.

Para os processamentos da DEM até a obtenção do índice em questão, foi adotado

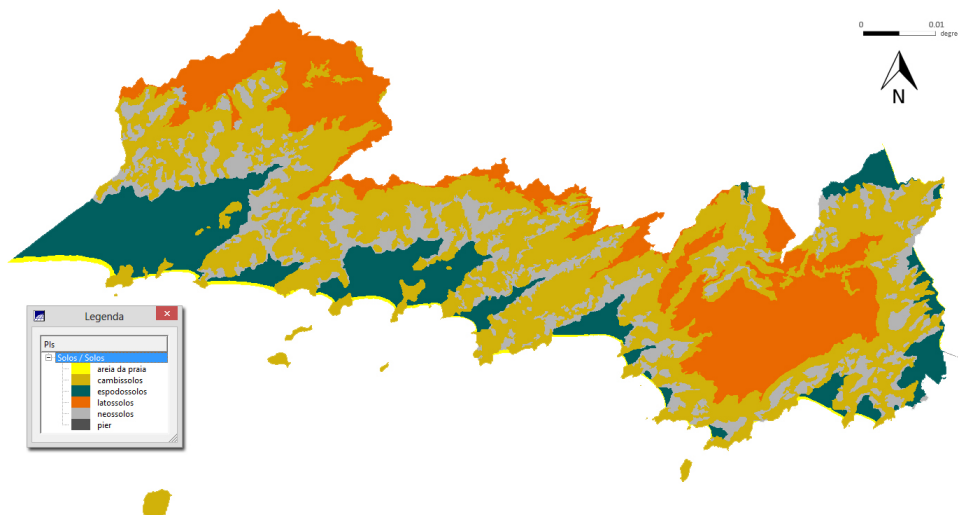


Figura 2.5 - Geocampo temático de Solos do município de São Sebastião-SP no SPRING.

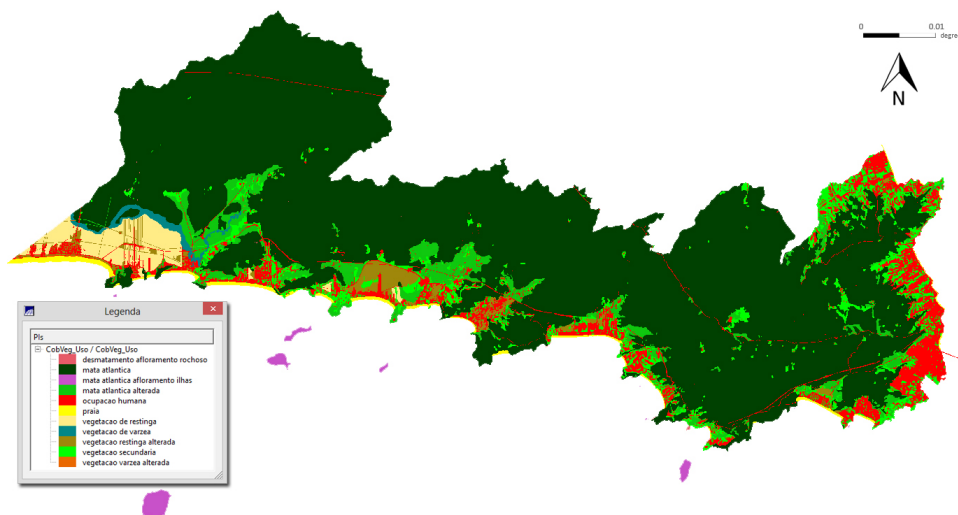


Figura 2.6 - Geocampo temático de Cobertura e Uso do Solo do município de São Sebastião-SP no SPRING.

a ferramenta de análise geoespacial WhiteBox GAT 3.2.0. Os dados altimétricos (DEM) do município foi adquirido no TOPODATA (TOPODATA, 2014). No White-Box, primeiramente é realizado o processo de filtragem da DEM pelos os operadores de (i) preenchimento de depressões e remoção de áreas plana (*Fill depression*) e (ii) remoção de buracos (*Fill Single-Cell Pits*). Após a filtragem, são obtidos o (iii) mapa de declividade (*Slope*) e (iv) a grade de ponteiros de fluxo (*Flow Pointer*), utilizando-se o método de diferença finita de terceira ordem de Horn (1981) e o método D8 (CALLAGHAN; MARK, 1984), respectivamente. Obtidos a declividade e a grade de ponteiro de fluxo, calcula-se então o SCA pelo operados (v) de fluxo de

acumulação por D8/Rho8 (*D8/Rh8 Flow Accumulation*). Por fim, o índice é adquirido por meio da Equação 2.1, utilizando-se para α a grade SCA e β a grade de declividade. A Figura 2.7 ilustra o fluxo das operações descritas acima.

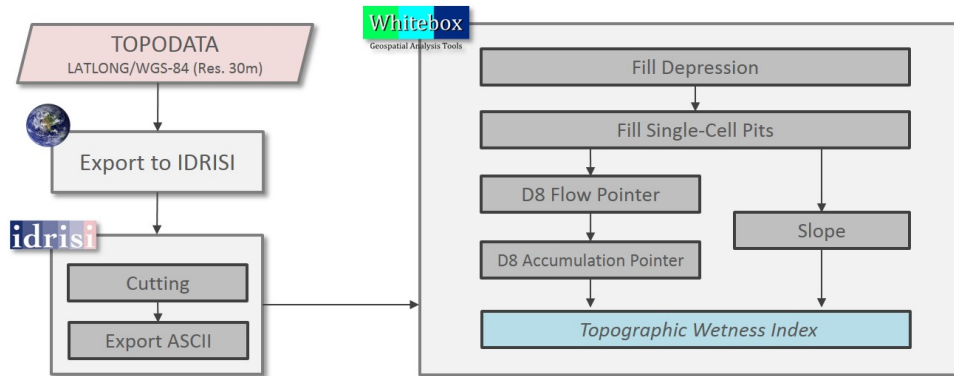


Figura 2.7 - Fluxo de aquisição do TWI por meio do *software* WhiteBox GAT.

Por fim, o índice é enfim carregado no SPRING para a integração no banco, a obtenção do geocampo temático é realizada a partir do LEGAL de fatiamento realizado por Muñoz (2005), em que considera as possíveis combinações lógicas das variáveis para as respectivas classes de suscetibilidade.

A Figura 2.8 mostra o resultado do fatiamento para a grade TWI, segundo as classes de suscetibilidade pré-estabelecidas.

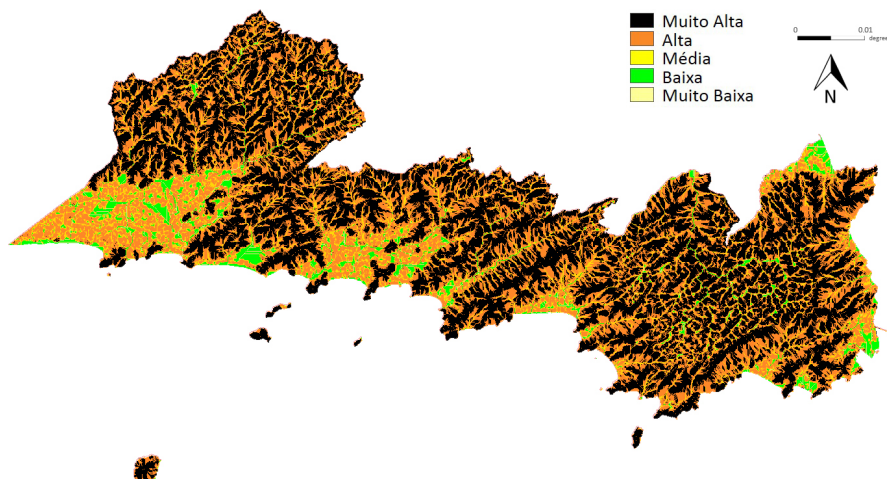


Figura 2.8 - Geocampo temático no SPRING após o fatiamento do *Topographic Wetness Index* (TWI).

2.4.2 Inferências espaciais

A sequência de operações que compreende as inferências espaciais utilizadas é relacionada aqui de acordo com o modelo OMT-G ilustrado na Figura 5.1 (Apêndice A), tal que o modelo é fundamentado no modelo conceitual do banco de dados geográfico e os procedimentos empregados no trabalho. Desta forma, abaixo são relacionadas cada uma das inferências espaciais utilizadas no estudo.

2.4.2.1 Análise Booleana

A análise booleana consiste na mais simples técnica utilizada na inferência espacial. Trata-se de um operador algébrico capaz de realizar diferentes combinações lógicas entre mapas binários. Assim, é possível combinar os vários planos de informação a fim de satisfazer uma determinada hipótese ou proposição seguindo uma sequência lógica.

Os operadores lógicos frequentemente utilizados na lógica de mapas são os operadores AND (intersecção), OR (união), NOT (negação) e XOR (exclusão). A Figura 2.9 ilustra a representação desses e outros em relação a suas operações.

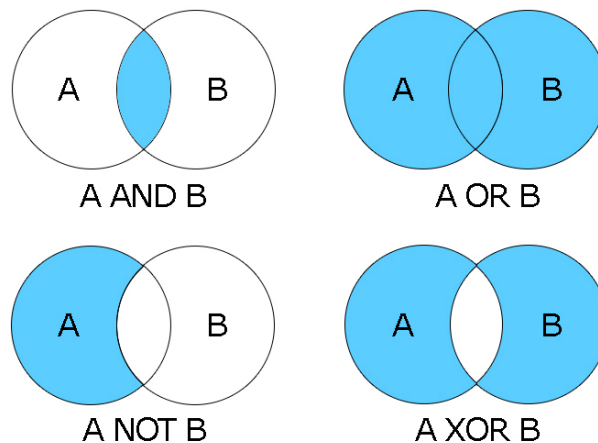


Figura 2.9 - Diagramas de Venn demonstram as principais operações lógicas booleanas em relação a dois elementos.

2.4.2.2 Média Ponderada

A inferência espacial por média ponderada considera a importância de cada elemento do conjunto analisado, agregando-os pesos conforme seu grau de importância. Por-

Tabela 2.1 - Matriz com o grau de relação das respectivas variáveis.

	1	2	3	4	5	6
1	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
2	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
3	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
4	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
5	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
6	0.17	0.20	0.25	0.33	5.00	1.00
Razão de consistência (CR)	1.9%					

tanto, no contexto do problema abordado, para cada variável utilizada na inferência é agregado um valor que representa seu peso na suscetibilidade aos movimentos de massa.

$$MP = \frac{(p_1 * v_1) + (p_2 * v_2) + (p_3 * v_3) + \dots + (p_n * v_n)}{1 + 2 + 3 + \dots + n} \quad (2.2)$$

em que p representa os respectivos pesos das variáveis v . A determinação dos pesos para cada variável é estipulado, normalmente, por especialistas em geotecnia. Os valores utilizados no estudo da inferência por Média Ponderada simples, não considerou o grau de influência de nenhuma das variáveis, agregando-lhe valores livre de qualquer conhecimento sobre a importância de cada variável ambiental na modelagem, ao contrário do que é realizado na inferência por Média Ponderada com suporte AHP.

2.4.2.3 Média Ponderada com AHP

O Processo Analítico Hierárquico auxilia a tomada de decisões baseado em critérios qualitativos e quantitativos, ou seja, a Média Ponderada com suporte AHP, não só considera a importância de cada elemento no conjunto, mas também a influência que cada elemento possui sobre os outros pela a inserção de conhecimento de um especialista, aumentando a precisão do modelo. A AHP divide o problema em avaliações de menor importância e mantém a participação desses problemas menores na decisão global.

O processo é realizado por meio de combinações pareadas entre os elementos, onde são analisadas as suas relações e graus de importância. Ao realizar as comparações, Tabela ??, foram obtidos os valores expressos na Tabela 2.4.2.3.

Tabela 2.2 - Média Ponderada por AHP. Pesos estimadas a partir das combinações pareadas.

Categoria	Prioridade	Rank
Declividade	38,2%	1
Geomorfologia	25,0%	2
Geologia	16,0%	3
Solos	10,1%	4
Cobertura e uso	6,4%	5
TWI	4,3%	6

2.4.2.4 Fuzzy-Gama

Na etapa de inferência *Fuzzy-Gama*, foram realizados quatro cenários diferentes. Os cenários são adaptados de acordo com os diferentes valores de gama. Neste trabalho, foram avaliados os seguintes valores: 0.60, 0.65, 0.70, 0.75. A princípio, a inferência *Fuzzy-Gama* é realizada sobre as variáveis Declividade, Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso do Solo. Posteriormente, a fim de verificar a influência do índice TWI, foram aplicados o operador *Fuzzy-Gama* para as mesmas variáveis e cenários com a inclusão do geocampo TWI.

A avaliação da variação dos diversos cenários pode ser realizada pelo cálculo do mapa de incerteza. Na Seção 3 são apresentados os resultados e discussões dos diversos cenários *fuzzy-gama* com e sem o uso do índice TWI, bem como sua influência na determinação das áreas suscetíveis aos movimentos de massa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo o fluxo da seção anterior, os resultados nesta seção serão apresentados conforme a ordem de aplicação das inferências espaciais. Desta forma, o geocampo temático obtido pela análise booleana é apresentado na Figura 3.1.

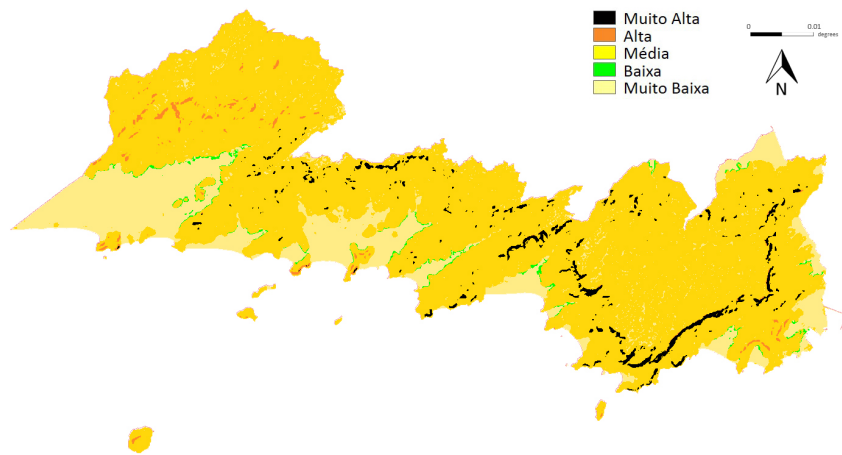


Figura 3.1 - Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência booleana.

As inferências por média ponderada e média ponderada com suporte AHP apresentaram resultados mais consistentes quando comparados a análise booleana. Os pesos utilizados na inferência pela média ponderada simples foram: 0.17, 0.16, 0.13, 0.16, 0.23 e 0.15, respectivamente para Declividade, Geomorfologia, Geologia, Solos, Cobertura e uso do solo e TWI. O resultado adquirido pela aplicação da média ponderada simples é explicado pela não consideração dos pesos de cada variável ambiental, ou seja, os pesos agregados às variáveis dizem respeito a um fator de ponderação e não mais que isso, não levando em conta, por exemplo, a importância da respectiva variável para o evento de movimento de massa.

A média ponderada com suporte AHP, por outro lado, considera o conhecimento do especialista e por meio de combinações pareadas entre os elementos do conjunto, agrega os pesos correspondentes à influência que cada uma delas possui na ocorrência do evento. Evidentemente, o resultado da média ponderada por AHP mostrou-se melhor, Figura 3.2

Por fim, foram realizadas as inferências pela técnica *Fuzzy-Gama*, que permite considerar diferentes cenários de suscetibilidade, podendo estes serem mais pessimistas

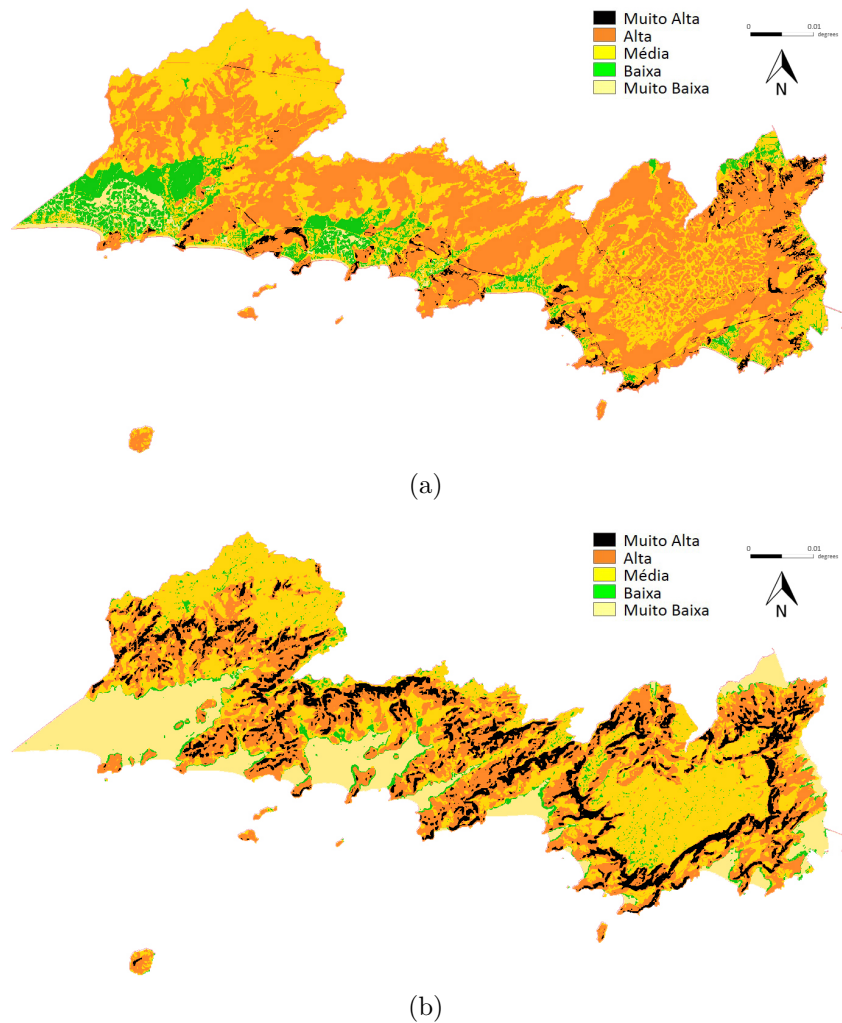
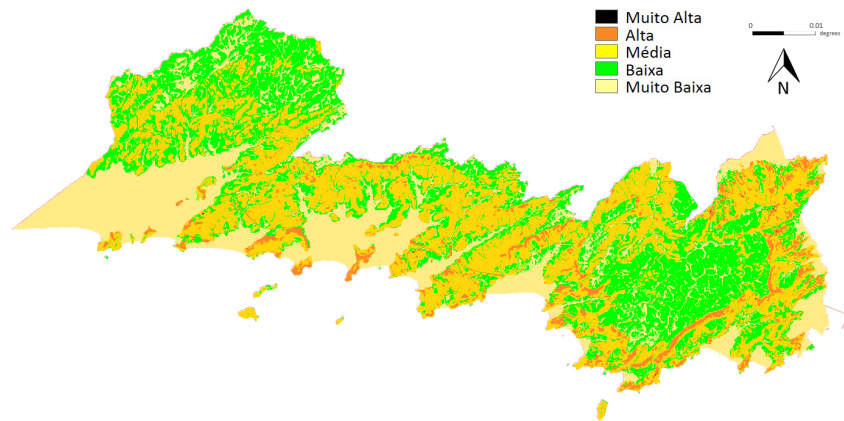


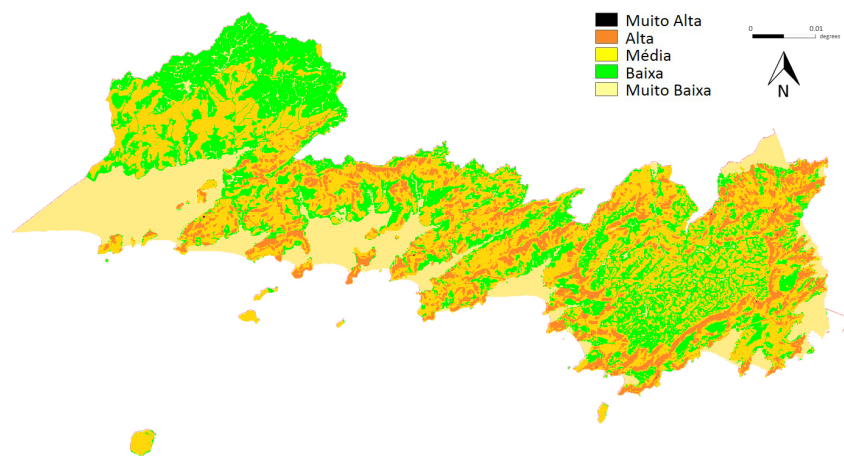
Figura 3.2 - Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da (a) inferência por média ponderada simples e (b) média ponderada com suporte AHP.

ou otimistas. O respectivo ajuste é realizado pela modificação de gama (γ), valores próximos de 0 representa cenários mais otimistas, enquanto de valores próximos de 1 admitem cenários mais pessimistas. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os resultados obtidos com a aplicação dos cenários de $\gamma = 0.60, 0.65, 0.70$ e 0.75 .

O Mapa de incerteza demonstra as classes de suscetibilidade que variaram entre os diferentes cenários, sendo que os locais que variaram entre um cenário seja atribuído o valor de incerteza. A Figura 3.5 apresenta o mapa de incerteza gerado para os cenários de $0.60, 0.65, 0.70$ e 0.75 .

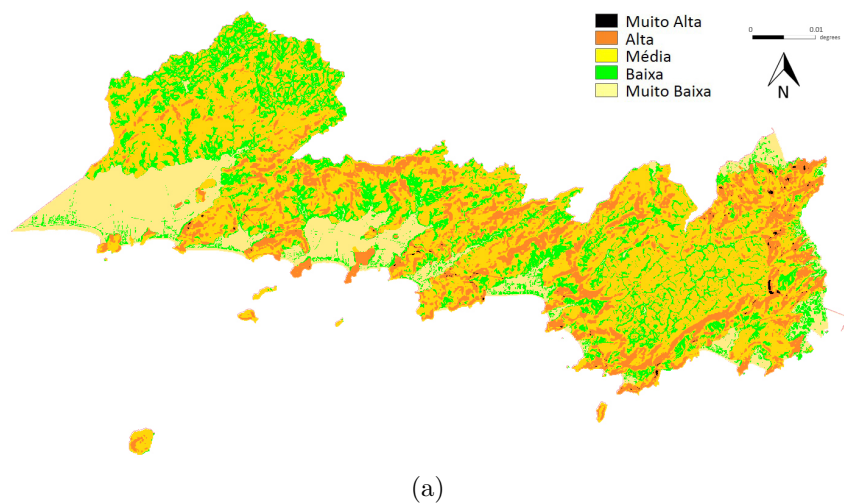


(a)

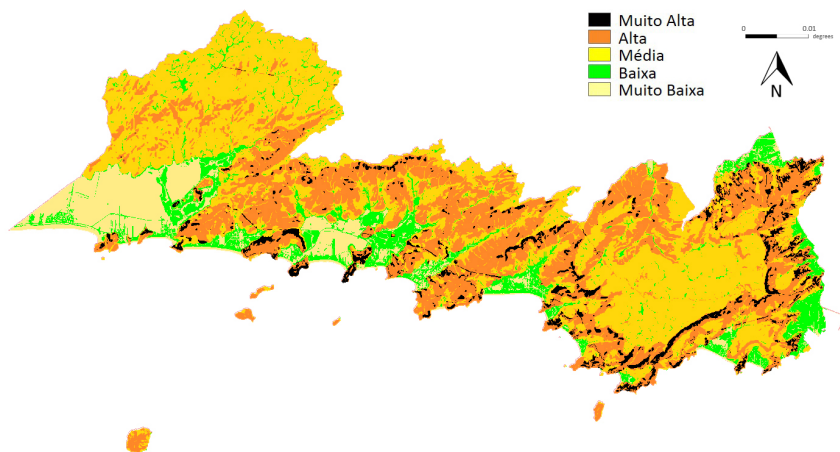


(b)

Figura 3.3 - Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência pelo método *Fuzzy-Gama*. (a) $\gamma = 0.60$. (b) $\gamma = 0.65$.



(a)



(b)

Figura 3.4 - Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência pelo método *Fuzzy-Gama*. (a) $\gamma = 0.70$. (b) $\gamma = 0.75$.

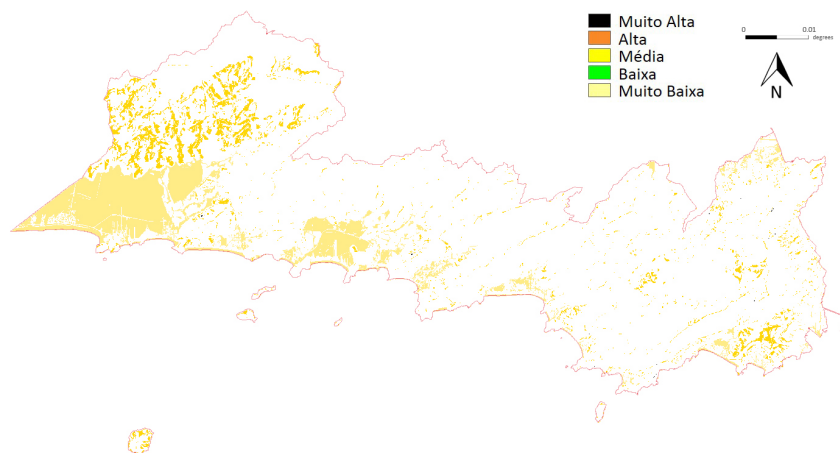


Figura 3.5 - Mapa de incerteza. Avaliação da variação das classes de suscetibilidade entre os diversos cenários *Fuzzy-Gama*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Análise Booleana por ser uma análise qualitativa, forneceu resultado de reduzida coerência.

A média ponderada mostrou-se um método mais consistente por permitir a inserção de pesos às diferentes variáveis ambientais, diferenciando suas contribuições.

A média ponderada por AHP revelou-se superior à média ponderada tradicional, uma vez que os pesos foram determinados de forma mais criteriosa a partir de uma comparação qualitativa pareada entre variáveis.

Por fim, a análise por Fuzzy-Gama demonstrou ser o método mais flexível para subsidiar o processo de tomada de decisão, pois possibilita a geração de diversos cenários de suscetibilidade a movimentos de massa em função da variação do valor do índice gama.

Cabe ressaltar que não foi realizada a etapa de validação dos resultados em virtude da indisponibilidade de dados de referência, já que para isso seria necessário o mapeamento de cicatrizes de eventos recentes de movimentos de massa na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEVEN, K.; KIRKBY, N. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. **Hydro. Sci. Bull.**, p. 43–69, 1979. 5

BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de são sebastião-sp com o uso de técnicas de geoprocessamento. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, 2009. XIV, p. 3583–3590. 3

CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. In: VISION, G. C.; PROCESS, I. (Ed.). **Computer Vision, Graphics, and Image Process.** [S.l.: s.n.], 1984. v. 28, n. 3, p. 323–344. 6, 7

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de são sebastião-sp. In: REMOTA, S. L. de P. (Ed.). **Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota (SELPER)**. Misiones, Argentina: [s.n.], 2000. (Argentina: SELPER, v. 9), p. Capítulo Argentina. 3, 4, 5

_____. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo de vulnerabilidade a movimentos de massa no município de caraguatatuba-sp. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.). **Anais X, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. X, p. 931–933. 2

HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. In: IEEE, P. of (Ed.). **Proceedings of IEEE**. [S.l.: s.n.], 1981. v. 69, n. 1, p. 14–47. 7

(IBGE), I. B. de Geografia e E. 2014. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/>>. 3

MOORE, I.; GESSLER, P.; NIELSEN, G.; PETERSON, G. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, p. 443–452, 1993. 5

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**. Dissertação (Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Curso Internacional em Sensoriamento

Remoto)) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2005. 3, 8

TOPODATA. **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. Junho 2014.

Acesso em: Junho de 2014. Disponível em:

<<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. 4, 7

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados srtm para o território nacional: o projeto topodata. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.).

XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia-GO: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. XII, p. 3595–3602. 4

APÊNDICE A - OMT-G

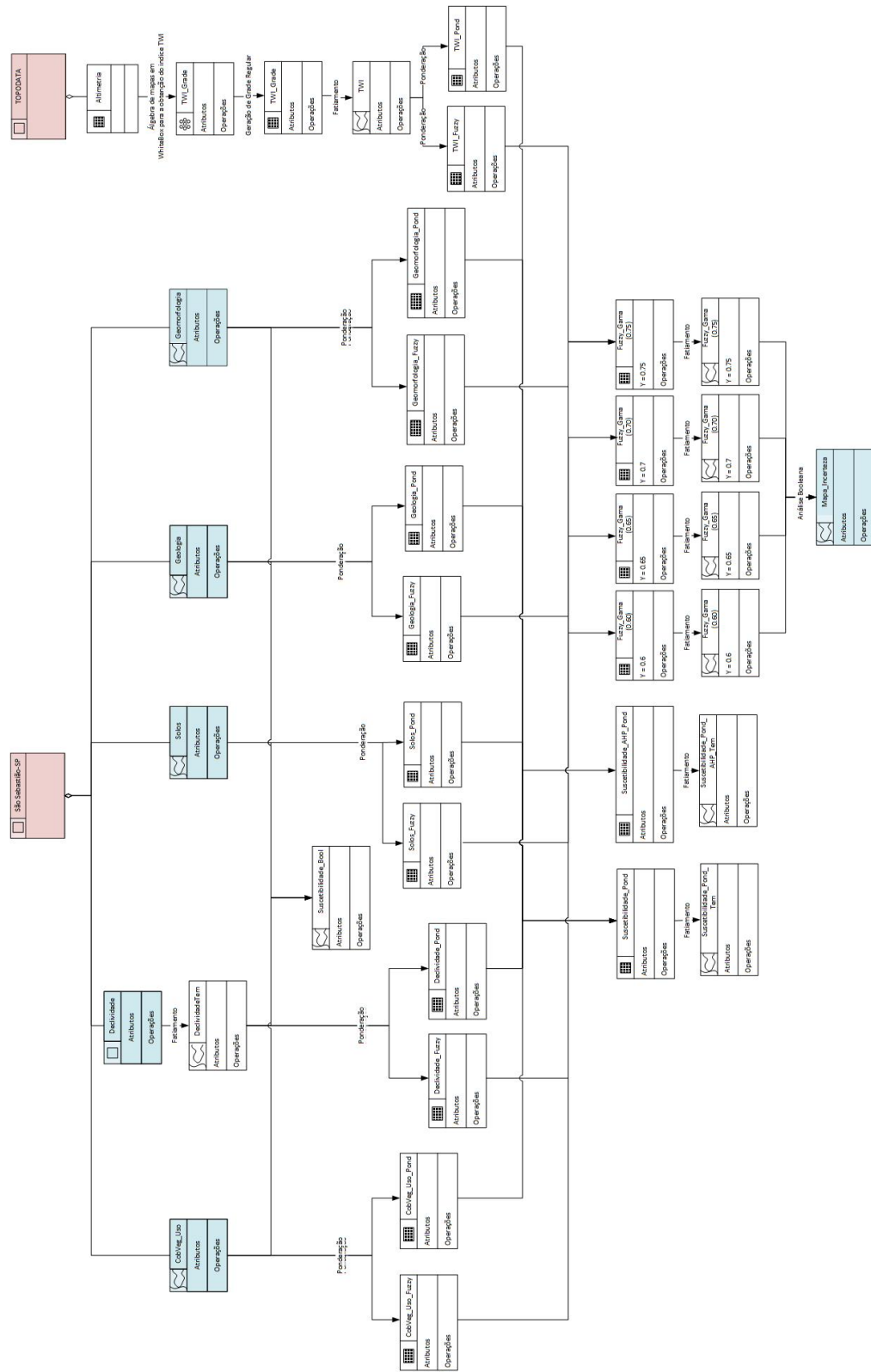


Figura 1 - Modelo OMT-G apresentando as etapas e os modelos conceituais dos dados utilizados.