

Avaliação de diferentes técnicas de modelagem e de dados espaciais aplicadas à análise de suscetibilidade a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí-SC

Manoel Ricardo Dourado Correia¹

Ruth Emilia Nogueira¹

Carlos Roberto de Souza Filho²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Campus Universitário, Sn, Trindade – CEP 88010-970 - Florianópolis - SC, Brasil
cabanaplus@hotmail.com; r.e.nogueira@ufsc.br

² Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6152 – CEP 13083-790 - Campinas - SP, Brasil
beto@ige.unicamp.br

Abstract. Evaluation of maps generated from different conceptual models or data processing approaches at spatial level has importance in many geoscience applications. This paper addresses the spatial comparison of different landslide susceptibility maps of the same area derived from various procedures and data. The location chosen for the study was the Itajaí Valley, SC in Brazil, which suffered substantial landslide damage following heavy rain in 2008. Landslides locations were identified in the study area from the interpretation of aerial photographs and satellite images. A spatial database was extracted from global and local digital elevation data (SRTM - 90m, ASTER - 30m, SDS - 3m), geological map and aerial and satellite imagery. The factors that influence landslide occurrence, such as slope, plan curvature, profile curvature, aspect, index convergence, slope length, simulation of canopy height, stream power index, topographic wetness index, distance from drainage, distance from hilltop and NDVI, were calculated from global and local digital elevation data. Lithologies, distance from lineaments and NDVI were extracted from a geological database (CPRM) and aerial (SDS) and satellite (LANDSAT) imagery. The spatial association between the factors and the landslides was calculated as W+, memberships values, frequency ratio (FR) and weighted sum overlay using respectively, the weights-of-evidence model, fuzzy logic approach and the landslide susceptibility index (LSI). Additionally, the Prediction Rate Curve (PRC) for all landslide susceptibility models was calculated. The independent landslide locations were used to validate and compare results of the landslide susceptibility map generated using all methods and the verification results showed a higher accuracy. In general, the performance tests indicate that the landslide susceptibility maps yielded for the study area shows a suitable level of accuracy.

Palavras-chave: spatial modelling, landslides, Fuzzy, weight of evidence, modelagem espacial, deslizamentos, pesos de evidência.

1. Introdução

Durante as últimas décadas, o advento e o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e o do Sistema de Informação Geográfica (SIG) resultaram na proliferação de mapas e dados espaciais em escala global. Estes mapas podem apresentar uma variedade de temas (atributos topográficos ou geomorfométricos, uso da terra, litologia e etc.) e de estruturas de dados diferentes (matriciais ou vetoriais).

Às vezes, existem situações em que vários mapas disponíveis, da mesma área de estudo e de atributos temáticos semelhantes (por exemplo, declividade, curvaturas, NDVI e etc.) exibem resultados diferentes. Estas diferenças decorrem majoritariamente das diferentes abordagens de pré-processamento, algoritmos utilizados, modelos conceituais, fatores temporais, resolução e formas de aquisição dos dados, ou simplesmente da classificação dos dados.

Um dos primeiros mapas aplicados à suscetibilidade a deslizamento, foco deste trabalho, foi preparado em 1970 (Brabb et al., 1972). Eles têm como finalidade mostrar áreas que são estáveis e áreas que podem ser afetadas por deslizamentos futuros (Varnes, 1984). Na literatura, diversos “reviews” de avaliação e mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos

podem ser encontrados em Varnes (1984) e Dai et al. (2002). Segundo esses autores, não existe um procedimento padronizado para preparar mapas de suscetibilidade, tampouco em ambiente SIG. Eles podem ser realizados por meio de diferentes abordagens e metodologias, dependentes majoritariamente da escala empregada, da disponibilidade dos dados e da complexidade do modelo empregado e, principalmente, do objetivo da avaliação (planeamento regional, urbano, desenvolvimento local, etc.) e das necessidades dos usuários (políticas públicas aplicadas à gestão de risco, regras de uso e ocupação, dentre outras).

Quanto à escala, Soeters e van Westen (1996), definem as escalas empregadas na análise de suscetibilidade como: nacional (<1:1,000,000); regional (1:100,000-1:500,000); média (1:25,000-1:50,000); e grande (1:5,000-1:10,000). Este trabalho centra-se na análise de suscetibilidade em escala regional e média, por meio de dados orbitais e aéreos, respectivamente.

A ocorrência de deslizamentos¹ depende das condições do terreno ou fatores preparatórios², tais como declividade, curvatura, distância das drenagens e etc.; adicionado aos fatores desencadeantes “*triggering events*”, como terremotos ou chuvas intensas, que representam a causa imediata da instabilidade e determinam o ritmo temporal dos deslizamentos.

Os procedimentos de análise de dados baseado em SIG fornecem meios de integrar diversos dados espaciais, de diferentes fontes (Bonham-Carter, 1994). As ferramentas computacionais avançadas e os modelos estatísticos associado oferecem inúmeras vantagens aos mapeamentos indiretos ou probabilísticos. No entanto, esses estudos não apresentam o efeito dos diferentes métodos e produtos cartográficos (derivados de bases de dados global e local) na preparação de mapas de suscetibilidade, no tocante, na região do baixo vale do Itajaí-SC. Logo, o objetivo deste trabalho é a avaliar as diferentes técnicas de modelagem - pesos de evidência, inferência *fuzzy*, índice de suscetibilidade a deslizamento (ISD) – e de dados espaciais aplicadas a análise de suscetibilidade a deslizamentos.

Em virtude do desempenho computacional e das diferentes resoluções espaciais empregadas no mapeamento, foram consideradas duas áreas de estudo: A e B (Figura1). A primeira é representada por uma área menor, aproximadamente 17,82 km², localizada no perímetro urbano do município de Blumenau-SC. A segunda corresponde a uma área que abrange grande parte do baixo vale da Bacia do Rio Itajaí-açu, com 1.414 km².

2. Caracterização da área de estudo

A região do baixo vale do rio Itajaí-açu, em especial os municípios de Blumenau, Ilhota, Gaspar, Massaranduba e Luis alves (Fig. 1), foi escolhida para a elaboração desse trabalho, devido à elevada ocorrência de deslizamentos no evento meteorológico extremo de 2008. Na ocasião, ocorreram aproximadamente 4.000 deslizamentos, sendo a maioria deles vinculados às ocupações irregulares. Eles danificaram e destruíram áreas agrícolas, florestais e, sobretudo, sítios urbanos.

No contexto geológico, a área de estudo caracteriza-se pela ocorrência de rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Arqueano); Rochas Graníticas, Gnaissicas e Migmatíticas (Paleoproterozoico) e do Complexo Metamórfico Brusque (Criogeniano); Bacia do Itajaí (Ediacariano); e, por fim, esparçados ao longo da área, as Coberturas Sedimentares do Quaternário (CPRM, 2011).

¹ Para o propósito desse trabalho, deslizamento será um termo genérico, usado para descrever o movimento de descida do solo, de rochas e material orgânico, sob o efeito da gravidade. Existem outros termos que são usados alternativamente ao termo “deslizamento”, que incluem movimento de massa, ruptura do talude, etc.

² Os temas do meio físico ou evidências, com seus respectivos atributos (classes), selecionadas como potenciais condicionantes dos movimentos de massa.

À exceção da planície fluvial, quase toda área de estudo é marcada pelos altos acidentes topográficos, com predomínio de relevo forte ondulado a montanhoso. Sua variação altimétrica situa-se entre 10 e 813 metros de altitude.

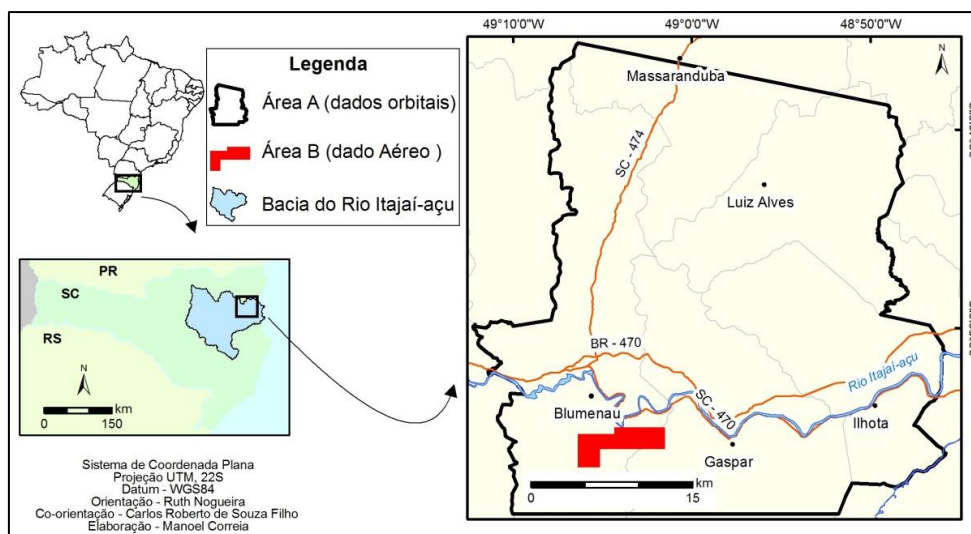


Figura 1. Área de estudo A e B. A primeira realizada com os dados orbitais (SRTM, ASTER), e o segundo com aerolevamento do SDS.

3. Material e métodos

Os mapas de suscetibilidade para os três conjuntos de dados – SRTM, ASTER e SDS - foram preparados por meio de três diferentes abordagens (Figura 2): i) análise por pesos de evidência, ii) análise por inferência Fuzzy, iii) e o Índice de Suscetibilidade a Deslizamento (ISD). Elas foram implementadas no aplicativo ArcGIS 9.3, utilizando a extensão Arc Spatial Data Modeller (ArcSDM) (Souza Filho, 2005; Sawatzky et al., 2012). A extensão, a documentação e as referências estão disponíveis gratuitamente no sítio: <http://www.ige.unicamp.br/wofe/download.htm>.

3.1 Preparação do inventário de deslizamentos e do conjunto de dados temáticos

Os dados obtidos por sensoriamento remoto tiveram grande utilidade na detecção e mapeamento dos deslizamentos. Diversas imagens orbitais e aéreas foram processadas e interpretadas, neste caso, pré e pós-desastre de novembro de 2008. Feições como superfícies de ruptura e cicatrizes de escorregamentos foram identificadas, quantificadas e mapeadas. Utilizou-se, quando possível, pesquisas de campo para certificação destas cicatrizes. Detalhes a cerca da preparação do inventário de deslizamentos pode ser encontrado em Correia e Waichel (2013).

Os deslizamentos foram catalogados como feições pontuais, identificadas no local de ruptura “*upper part of the scar in trigger areas*”. A escolha da feição pontual em detrimento da poligonal ocorreu em virtude da baixa resolução espacial dos modelos digitais de elevação ASTER e SRTM, já que cada célula pode ter somente um deslizamento conhecido (*training point*). Portanto, a área do deslizamento será proporcional à resolução e à escala dos dados de entrada, possuindo 8.100 m², 900 m² e 9m² para os dados SRTM³, ASTER⁴ e SDS⁵, respectivamente.

³Foram obtidos na resolução espacial de 90 metros no sítio: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>.

⁴Um dos benefícios do sistema ASTER é que ele oferece imagens estereoscópicas com resolução espacial de 30 metros. Elas foram obtidas no sítio: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>.

⁵Foram obtidas com resolução espacial original de 1 metro e reamostrados para 3 metros (Aerolevamento realizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, em 2011).

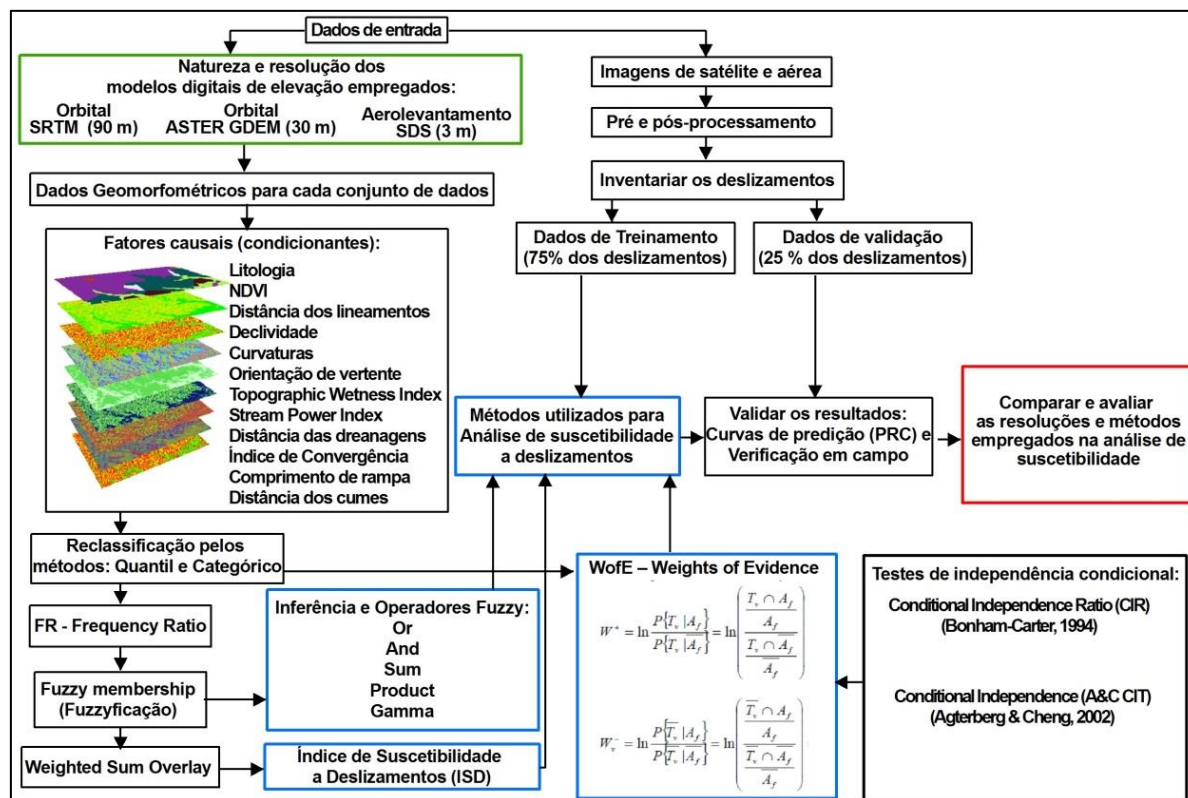


Figura 2. Natureza e resolução dos dados (polígono verde) e os métodos de modelagem (polígonos azuis) adotados na execução do trabalho.

Após a identificação das cicatrizes dos deslizamentos, elaborou-se as evidências com suas respectivas classes⁶, selecionadas como condicionantes dos movimentos de massa. Excluindo os dados geológicos (litologia e lineamentos) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), o restante das evidências utilizadas na análise de suscetibilidade foram extraídas dos modelos digitais de elevação. Conforme Soeters e van Westen (1996), a topografia é um dos principais fatores na análise de suscetibilidade a deslizamentos. A geração de uma representação da elevação da superfície, chamada *Digital Elevation Model* (DEM), desempenha um importante papel.

As 14 litologias e os lineamentos do presente estudo foram obtidos do mapa geológico do CPRM (2011), confeccionado na escala de 1:250.000. Os lineamentos foram calculados com intervalos “buffer” de 500 m. A simulação da altura do dossel foi obtida pela subtração do Modelo Digital de Superfície com o Modelo Digital do Terreno provenientes dos dados do aerolevantamento local. Por fim, utilizou-se o sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5 e o ortofotomosaico do SDS na região do visível (RGB) e infravermelho (IR) para o cálculo do NDVI, referente às resoluções de 90, 30 e 3 m, respectivamente. O banco de dados espacial está demonstrado na Tabela 1.

Para elaboração das evidências foram utilizados os seguintes aplicativos: ArcGIS 9.3 (ESRI), ENVI 4.6 (Exelis Visual Information Solutions) e o SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses).

⁶ Destaca-se que para facilitar a comparação dos três conjuntos de dados, todas as evidências foram abordadas como dados categóricos, reclassificadas, preferencialmente, em seis classes pelo método quantil.

Tabela 1. Fontes e significados dos fatores utilizados na análise.

Fatores (evidências)		Resolução/escala	Fonte	Descrição dos conteúdos
Tema	Fatores			
Geológico	GEO	1:250.000	CPRM (2011)	Unidades geológicas predominantes Distância dos lineamentos
	DL			
	SP			
	PLC			
	PRC			
	AS			
	IC			
	SL			
	SPI			
	TWI			
Topográfico e relacionada à água	IC	3 m,	SDS (2011)	Fluxos convergentes e divergentes
	SL	30 m,	ASTER (2002)	Fator de comprimento da rampa
	SPI	90 m	SRTM (2004)	Poder erosivo do fluxo de água
	DD			Umidade do solo
	OF	3 m	SDS (2011)	Distância vertical das drenagens
	DH	3 m	SDS (2011)	Simulação da altura do dossel Distância vertical dos cumes
NDVI	NDVI	3m, 30 m, 90 m	SDS (2011) Landsat TM	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Acrônimos: GEO: geologia, DL: Distância dos lineamentos, SP: declividade, PLC: curvatura em planta, PRC: curvatura em perfil, AS: orientação das vertentes, IC: índice de convergência, SL: comprimento de rampa, OF: simulação da altura do dossel, SPI: Stream Power Index, TWI: Topographic Wetness Index, DD: distância das drenagens, DH: distância dos cumes, e o NDVI.

3.2 A modelagem dos dados e os métodos aplicados à análise de suscetibilidade

Pesos de evidência é um método estatístico multivariado discreto, apoiado na ideia de probabilidade a priori e a posteriori. Ele permite avaliar as relações entre a distribuição espacial dos locais afetados por deslizamento (*training point*) e a distribuição espacial dos fatores causadores. Por conseguinte, é possível calcular o grau de influência que cada fator teve (mapas binários e/ou “multiclasses”) e, possivelmente, terá no futuro, no caso de novas ocorrências de deslizamento (Boham-Carter, 1994; Agterberg e Cheng, 2002; Correia et al., 2013).

Embora o contraste e *Studentized Contrast* sejam também utilizados para medir a correlação espacial entre os eventos e as evidências, optou-se neste trabalho pelos maiores valores de W^+ , já que eles representam as classes de maior probabilidade absoluta a deslizamentos. Para isso, as diversas evidências utilizadas na análise foram reclassificadas e transformadas em mapas binários, onde aparece apenas a classe favorável “*inside*” e desfavorável “*outside*”.

A modelagem WofE pressupõe que exista independência condicional entre os dados. Para isso, foram utilizados os testes *Conditional Independence Ratio* (Boham-Carter, 1994) e o *Agterberg & Cheng Conditional Independence* (Agterberg e Cheng, 2002).

A lógica *Fuzzy* surgiu com base na teoria dos conjuntos, publicada no ano de 1965 por Lotfi A. Zadeh. Na teoria dos conjuntos *Fuzzy*, a adesão pode assumir qualquer valor entre 0 e 1, que refletirá o grau de certeza da adesão. Logo, os seus limites não serão precisos. Ao contrário da lógica booleana, ela reporta muito mais informações, pois não se restringe ao verdadeiro e falso “é ou não é”. Isso permite que a lógica *Fuzzy* atribua valores lógicos intermediários aos eventos do meio físico com muito mais detalhe e gradualidade, anteposto aos limites rígidos da lógica clássica.

O processo de transformar os valores de entrada originais para a escala de 0 a 1 de pertinência é chamado *fuzzificação*. Para diminuir as incertezas e diminuir uma possível subjetividade na utilização das funções e, conseqüentemente, na atribuição dos pesos, obteve-se os valores a partir da utilização do método *frequency ratio* (FR). A razão de frequência é a relação entre o número de deslizamento da classe em porcentagem (β) com o domínio da classe em porcentagem (α). Quanto maior o valor de FR, mais forte é a relação entre a ocorrência de deslizamento com a classe do tema. Por outro lado, quanto menor o valor de

FR, mais fraca será a relação entre a ocorrência de deslizamento com a classe do tema. Consequentemente, os valores de FR foram normalizados entre 0 e 1 para descrever as funções de pertinência Fuzzy.

Os valores da razão de frequência foram também utilizados para obter o Índice de Suscetibilidade a Deslizamento (ISD). Neste caso a classe de maior valor do conjunto de cada dado foi utilizada para normalizar as demais classes. Posteriormente, a normalização dos dados, empregou-se a ferramenta *weighted sum overlay* para sumarização dos valores (Tabela 2,3 e 4).

Após a modelagem, os valores finais de suscetibilidade representados por números contínuos, foram reclassificados e hierarquizados em dez classes de área igual (*equal area*). Conforme Chung e Fabbri (2003), a categorização permite visualizar, validar e comparar diferentes mapas de suscetibilidade.

Por fim, para avaliar a eficiência dos modelos, utilizou-se o método *Prediction Rate Curve* (PRC), já que foram obtidos deslizamentos independentes, ou seja, usou-se pontos de treinamento que não foram empregados no processo da modelagem (Chung e Fabbri, 2003).

4. Resultado e discussão

A aplicação das modelagens (WOFE, Fuzzy e ISD) na série de dados, conforme descrição nos métodos, produziram diversas tabelas que sumarizam as estatísticas resultantes dos dados SRTM (Tabela 2), ASTER (Tabela 3) e SDS (Tabela 4). É importante observar os cálculos dos pesos positivos W^+ , os memberships e o ISD que representam a medida de correlação espacial entre o evento (escorregamento) e a evidência, de forma que, quanto maior esse valor, mais elevada será a associação espacial entre eles.

Tabela 2. Cálculos dos ponderadores (pesos) para as diferentes abordagens utilizadas nos dados SRTM (90 m). Como exemplo, utilizou-se a evidência declividade.

Classes	$N\{T_v\}$	$\{T_v A_f\}$	Declividade					Fuzzy memberships	ISD
			W^+	@	β	Ratio			
0-2,43°	28519	6	-2,228	16,35	1,76	0,11	0,05	0,02	
2,43-6,26°	29675	27	-0,763	17,02	7,94	0,47	0,23	0,11	
6,26-9,56°	28823	35	-0,474	16,53	10,29	0,62	0,30	0,14	
9,56-12,87°	28959	74	0,271	16,61	21,76	1,31	0,64	0,30	
12,87-17,04°	29569	82	0,353	16,96	24,12	1,42	0,69	0,32	
17,04-44,52°	28846	116	0,726	16,54	34,12	2,06	1,00	0,47	

Tabela 3. Cálculos dos ponderadores (pesos) para as diferentes abordagens utilizadas nos dados ASTER (30 m). Como exemplo, utilizou-se a evidência declividade.

Classes	$N\{T_v\}$	$\{T_v A_f\}$	Declividade					Fuzzy Memberships	ISD
			W^+	@	β	Ratio			
0 - 1,46°	260226	0	0,000	16,56	0,00	0,00	0,00	0,00	
1,46 - 6,83°	265660	10	-1,749	16,91	2,94	0,17	0,06	0,04	
6,83 - 11,72°	263428	29	-0,676	16,77	8,53	0,51	0,18	0,11	
11,72 - 16,36°	266523	55	-0,048	16,96	16,18	0,95	0,33	0,21	
16,36 - 21,73°	259939	86	0,425	16,54	25,29	1,53	0,53	0,34	
21,73 - 62,51°	255331	160	1,064	16,25	47,06	2,90	1,00	0,65	

No geral, eles apresentaram pesos semelhantes, por exemplo, as classes de maior valor do peso positivo (W^+) foram também encontradas nas classes dos memberships, embora as classes possuam atributos diferentes. Ressalta-se que apenas quatro das trinta e seis evidências foram mostradas aqui (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 4. Cálculos dos ponderadores (pesos) para as diferentes abordagens utilizadas nos dados SDS (3 m). Como exemplo, utilizou-se a evidência declividade.

Classes	$N\{T_v\}$	$\{T_v A_f\}$	Declividade				Ratio	Fuzzy memberships	ISD
			W^+	@	β				
0 - 9,75°	330091	1	-2,120	16,67	2	0,12	0,07	0,05	
9,75 - 16,98°	330093	2	-1,427	16,67	4	0,24	0,14	0,10	
16,98-21,22°	330092	8	-0,041	16,67	16	0,96	0,57	0,39	
21,22 - 24,68°	330092	13	0,445	16,67	26	1,56	0,93	0,64	
24,67 - 28,75°	330092	12	0,365	16,67	24	1,44	0,86	0,59	
28,75 - 70,93°	330091	14	0,519	16,67	28	1,68	1,00	0,69	

Dentre os operadores Fuzzy, os melhores resultados foram apresentados pelos operadores *gamma*, *product* e *and*, respectivamente, tanto nos dados orbitais quanto no aerolevanteamento. Observa-se que os operadores *sum* e *or* apresentaram valores inferiores a 60% de eficiência. A baixa eficiência destes operadores está relacionada à maximização dos *memberships* de entrada (Tabela 5).

A alta eficiência do ISD, com PRC médio de 78,6%, está relacionada à sumarização dos valores absolutos de cada classe. No caso da lógica Fuzzy, os valores são relativos a cada classe, ou seja, todos os temas apresentam valores máximos ou 1, enquanto que no ISD, apenas um tema apresenta o valor 1.

Quanto ao método Wofe, a escolha do modelo final ocorreu considerando-se os valores de independência condicional e a eficiência dos modelos (PRC). Nesse sentido, os dados ASTER foram os que apresentaram uma melhor combinação (Tabela 5), embora apresentassem valores inferiores comparados aos demais métodos.

Tabela 5. A eficiência (PRC) dos métodos obtida por 98 deslizamentos (*training points*) independentes, sendo 88 para os dados orbitais e 10 para os dados aéreos.

SRTM (90 m)		ASTER (30 m)		SDS (3 m)	
Metódos	PRC %	Metódos	PRC %	Metódos	PRC %
Wofe	68	Wofe	76	Wofe	65
(AS,SP,NDVI,IC)		(SP,DD,SL)		(12 evidências)	
ISD	80	ISD	82	ISD	74
Fuzzy Sum	60	Fuzzy Sum	55	Fuzzy Sum	49
Fuzzy And	76	Fuzzy And	74	Fuzzy And	74
Fuzzy Or	59	Fuzzy Or	55	Fuzzy Or	55
Fuzzy Gamma 0,3	80	Fuzzy Gamma 0,3	78	Fuzzy Gamma 0,3	76
Fuzzy Gamma 0,5	79	Fuzzy Gamma 0,5	79	Fuzzy Gamma 0,5	76
Fuzzy Gamma 0,7	78	Fuzzy Gamma 0,7	80	Fuzzy Gamma 0,7	76
Fuzzy Product	75	Fuzzy Product	76	Fuzzy Product	75

Acronimos: PRC: *Prediction Rate Curve*, SP: declividade, AS: orientação das vertentes, IC: índice de convergência, SL: comprimento de rampa, DD: distância das drenagens, e o NDVI.

5. Conclusões

De modo geral, os mapas finais de suscetibilidade honraram satisfatoriamente os pontos de treinamento (deslizamentos não utilizados na modelagem), atestando os bons resultados da classificação (Figura 3), sendo que o Índice de Suscetibilidade a Deslizamento (ISD) foi o método que apresentou melhor resultado, tanto nos dados orbitais quanto nos dados aéreos.

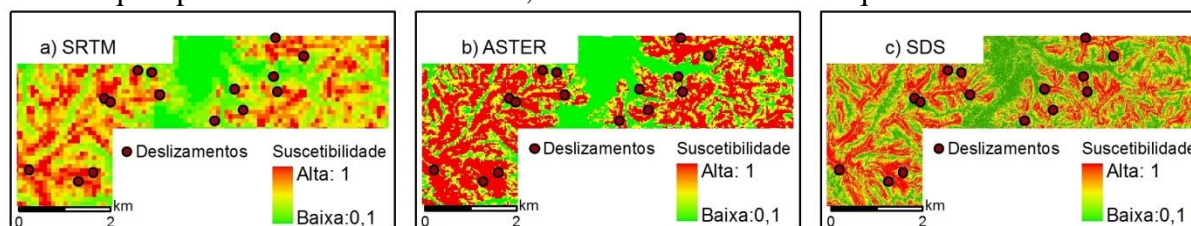


Figura 3. a) Mapa de suscetibilidade obtido pelos dados SRTM e pelo método ISD. b) Mapa de suscetibilidade obtido pelos dados ASTER e pelo método ISD. c) Mapa de suscetibilidade obtido pelos dados SDS e pelo operador gamma 0,3.

Embora os dados de baixa resolução espacial (SRTM, ASTER) apresentem boa exatidão (PRC > 80%), a resolução deles parece ser insuficiente para representar os atributos topográficos. Por exemplo, numa área de 1.414 km², o maior valor de declividade para estes dados foram 44,5° e 62,5°, respectivamente. Logo, a generalização dos atributos topográficos foi proporcional ao tamanho do *pixel* empregado.

O uso de dados de baixa resolução é recomendado para grandes áreas (escala nacional ou regional), já que as macroestruturas geológicas e geomorfológicas (crátons, faixas orogênicas, bacias sedimentares e etc.) podem ser mais bem avaliadas e corretamente interpretadas. Isto pode ser corroborado nas litologias da Bacia do Itajaí, onde somente os ritmitos da Formação Garcia possuem 25,6% (87) dos deslizamentos mapeados em apenas 5,79% (81,08 km²) da área total.

Os dados do aerolevante apresentaram valores de exatidão menor que os dados orbitais. Por conseguinte, deduziu-se que quanto maior for a resolução espacial, menor será a eficiência das curvas de predição. Portanto, os resultados são dependentes da natureza do dado e da escala empregada.

Se o objetivo final é comparar mapas de suscetibilidade obtidos de distintos métodos, recomenda-se não transformar os dados em classes binárias na aplicação do método pesos de evidência, tampouco utilizar técnicas de independência condicional antes ou depois do mapa final de suscetibilidade, já que os dados serão novamente hierarquizados ou normalizados para as fases de validação e comparação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pela bolsa de doutoramento (Edital 020/2010) do primeiro autor.

Referências

- Agterberg, F. P.; Cheng, Q. **Conditional Independence Test for Weights-of-Evidence Modelling**. *Natural Resources Research*, v. 11, n. 4, p 249 – 255, 2002.
- Bonham-Carter, G.F. **Geographic Information Systems for Geoscientists – Modeling with GIS**. Pergamon, 398p, 1994.
- Brabb, E.E.; Pampeyan, E.H; Bonilla, M.G. **Landslide susceptibility in San Mateo County, California**: U.S. Geol. Survey Misc. Field Studies Map 360,1972.
- Chung, C.F.; Fabbri, A.G. **Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping**: *Natural Hazards*, v. 30, p. 451-472, 2003.
- Correia, M.R.D.; Nogueira, R.E.; Souza Filho, C.R.; Pozzobon, M. **Aplicação da técnica Pesos de Evidência (Weights of Evidence - WofE) para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí-SC** in: Anais XVI SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013, pp. 6010-6017, 2013.
- Correia, M.R.D.; Waichel, B.L. **Cartografia em multimídia e sensoriamento remoto para a inventariação de movimentos de massa no baixo vale do Itajaí-Sc** in: 14º Congresso Brasileiro De Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.
- CPRM. **Carta Geológica**. Folha SG. 22-Z-B-JOINVILLE, escala 1:250.000, 2011.
- Dai, F.C; Lee, C.F; Ngai, Y.Y. **Landslide risk assessment and management: an overview**. *Eng Geol*, 2002.
- Sawatzky, D.L.; Raines, G.L.; Bonham-Carter, G.F; Looney, C.G. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks**, 2012. http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm. Acessado em 31 jan 2012.
- Soeters, R.; van Westen, C. **Slope stability: recognition, analysis and zonation**, in: A. Turner and R. Shuster (eds), *Landslides: investigation and mitigation*, National Academy Press, Washington, D. C., pp. 129, 1996.
- Souza Filho, C.R. **Arc-SDM: Spatial Data Modeller for ArcGIS and Spatial Analyst**, 2005. (www.ige.unicamp.br/sdm).
- Varnes, D.J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**. *Natural Hazards*, vol 3. UNESCO Press, Paris. 2004.