



XVI SIMPOSIO
INTERNACIONAL
SELPER 2014

La Geoinformación
al Servicio de la Sociedad

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



Metodologia desenvolvida para cálculo de vulnerabilidade a deslizamentos de terra

Methodology development for calculation of vulnerability to landslides

Luiz Tadeu da Silva

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Pres. Dutra, Km. 39 - 12630-000 - Cachoeira Paulista/SP, Brasil, luiz.tadeu@cptec.inpe.br, Analista em Ciência e Tecnologia.

Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM) e Universidade de Évora, Largo dos Colegiais 2 - 7004-516 - Évora, Portugal, ems@uevora.pt, Professora Universitária.

João Alexandre Medina Corte-Real

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora e ULHT - Departamento de Aeronáutica e Transportes. Largo dos Colegiais 2 - 7004-516 - Évora, Portugal, e Campo Grande, 376 - 1749-024 - Lisboa, Portugal jmcr@uevora.pt e joao.cortereal@ulusofona.pt, Professor Universitário.

Daniel Andrés Rodriguez

Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Pres. Dutra, Km. 39 - 12630-000 - Cachoeira Paulista/SP, Brasil, daniel.andres@inpe.br, Pesquisador.

Pedro Ivo Mioni Camarinha

Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Pres. Dutra, Km. 39 - 12630-000 - Cachoeira Paulista/SP, Brasil, pedro.camarinha@inpe.br, Doutorando.

Bruno Evangelista de Moraes

B2 IT Solutions, Rua Manoel Eduardo Pereira, nº 60 - 12514-090, Guaratinguetá/SP, Brasil, brunoemoraes@hotmail.com, Consultor de Tecnologia da Informação.

David Guimarães Monteiro França

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Pres. Dutra, Km. 39 - 12630-000 - Cachoeira Paulista/SP, Brasil, david.franca@cptec.inpe.br, Mestrando.

Resumo

Áreas urbanas em sua expansão avançam para áreas geologicamente instáveis e topograficamente inclinadas, como é o caso da Bacia do Rio Bengalas, localizada no

Município de Nova Friburgo, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este artigo tem por objetivo apresentar a metodologia desenvolvida para cálculo de vulnerabilidade a deslizamentos de terra, que em janeiro de 2011, com a ocorrência de fortes chuvas, estes desastres impactaram na morte de 429 pessoas no Município de Nova Friburgo. Para este artigo foram feitas diversas investigações relacionadas às áreas da bacia, como declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical, curvatura horizontal. Com este estudo foi possível compreender como os elementos naturais e antrópicos do local de estudo estão relacionados com a dinâmica local dos desastres no que diz respeito às suas interferências na indução dos deslizamentos de terra, possibilitando assim a melhoria da gestão pública do Município no tocante ao uso e parcelamento do solo, a partir da identificação de áreas da Bacia do Rio Bengalas suscetíveis a deslizamentos de terra.

Palavras Chave: Desastres Naturais, Escorregamentos de Terra, Nova Friburgo.

Abstract

Urban areas in expansion move to geologically unstable areas and topographically inclined, such as the Basin of River Bengalas, located in the city of Nova Friburgo, mountainous region of the State of Rio de Janeiro, Brazil. This article aims to present the model survey to assess the susceptibility to landslides, which in January 2011, with the occurrence of heavy rains, caused landslides that impacted in the death of 429 people in city of Nova Friburgo. For the case study, several investigations have been made related to the areas of the basin, such as slope, soil conditions, lithology, land use and cover, vertical curvature and horizontal curvature. With this study it was possible to understand how the natural and anthropics elements of the basin are related to the local

dynamics of the disasters regarding to their interferences in the induction of landslides, thus enabling improved public management of the Municipality regarding the use and division of land, from the identification of areas Basin of River Bengalas susceptible to landslides.

Key Words: Natural Disasters, Landslip, Nova Friburgo.

Introdução

Áreas urbanas em sua expansão avançam para áreas geologicamente instáveis e topograficamente inclinadas, como é o caso da Bacia do Rio Bengalas, localizada no Município de Nova Friburgo, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Ano após ano os desastres naturais resultam em um grande número de mortos e feridos, além das onerosas perdas económicas. A literatura indica um incremento na frequência e na intensividade dos desastres naturais (Dilley et al. 2005, Brauch 2005, Cardona 2005), como também para a conscientização e engajamento da comunidade internacional em torno do problema.

Segundo relatório do UNDP (2004), 75% da população mundial habita em áreas que foram afetadas pelo menos uma vez por ciclones, enchentes, secas ou terremotos entre os anos de 1980 e 2000, ocasionando inúmeras mortes, impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, na economia etc. (Braga, Oliveira & Givisiez 2006).

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres em Kobe, Japão, no ano de 2005, chama a atenção para a necessidade de se desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade a níveis nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade (UN 2005). De acordo com o documento do Núcleo de Assuntos

Estratégicos da Presidência da República do Brasil (NAE 2005), a base das projeções de desastres naturais para as próximas décadas encontra-se na mudança do clima que se tem se manifestado ultimamente. Este mesmo documento revela que os países em desenvolvimento como o Brasil encontram-se mais vulneráveis à mudança do clima, em função de terem historicamente uma menor capacidade de responder a sua variabilidade natural (NAE 2005).

Para tanto, há uma crescente importância em desenvolver análises e métodos que busquem operacionalizar diferentes dimensões de vulnerabilidade no contexto de mudanças climáticas, considerando as diferentes escalas de ocorrência dos fenômenos, que incluem agregações de dados que interagem de múltiplas maneiras e em distintas situações. Para isso, tem sido cada vez mais evidente uma abordagem interdisciplinar (MELLO et al. 2010). Assim, é extremamente importante aprimorar e criar novas ferramentas que permitam avaliações detalhadas destes impactos no Brasil. Estas ferramentas são importantes para prover bases científicas para tomadas de decisões sobre regiões vulneráveis e processos críticos de conservação ambiental. No caso, o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de vulnerabilidade a deslizamentos de terra é trivial para a humanidade.

Metodologia

Para cada variável (declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal) foram adotados pesos de acordo com suas classes, podendo variar de 0,00 a 1,00, sendo que àqueles mais próximos de 0,00 indicam classes de baixa relação com a vulnerabilidade a deslizamentos de terra, enquanto que àqueles mais próximos de 1,00 indicam classes de elevada relação. A interação dos

planos de informações destas variáveis está fundamentada nos estudos de Tricart (1977), com os princípios da ecodinâmica, que estabelece uma gradação entre a morfogênese, prevalecendo os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese, onde os processos formadores de solos prevalecem. Diversos trabalhos foram realizados, como:

- Levantamento de todos os pontos de deslizamentos de terra que desencadearam os desastres na Bacia do Rio Bengalas, em janeiro de 2011;
- Análise para compreender como os elementos naturais e antrópicos da área de estudo estão relacionados com a dinâmica local dos desastres, no que diz respeito às suas interferências na indução dos deslizamentos de terra;
- Compilação de dados georreferenciados da área de estudo para tratá-los por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para que as informações espaciais representem da melhor forma possível a vulnerabilidade a deslizamentos de terra;
- Cálculo e adoção dos pesos segundo as características do meio físico das variáveis declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo. Ressalta-se que neste novo modelo as variáveis geomorfométricas “curvatura vertical” e “curvatura horizontal” foram incluídas no cálculos. Além disso, estes pesos foram calculados segundo a proporcionalidade dos 183 deslizamentos de terra;
- Levantamento e avaliação dos dados de precipitação local;
- Desenvolvimento de equação para a nova metodologia de cálculo da vulnerabilidade a deslizamentos de terra; e
- Geração do mapa de vulnerabilidade a deslizamentos de terra.

O método adotado neste trabalho baseia-se no estudo da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados propostos por Tricart (1977), com adaptações dos Autores, em que sistematiza uma hierarquia nominal de fragilidade representada por valores ou pesos, denominada neste trabalho como “Classes da Suscetibilidade/Vulnerabilidade e seus Índices”, adaptados pelo Autor. São elas: muito baixa (0,00 a 0,19), baixa (0,20 a 0,39), média (0,40 a 0,59), alta (0,60 a 0,69) e muito alta (\geq a 0,70).

Aquelas classes com “muito baixa” ou “baixa” vulnerabilidade são as áreas que apresentam menores riscos a deslizamentos de terra, enquanto que a “média”, “alta” e “muito alta” são as áreas que apresentam, respectivamente, média, alta e muito alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra.

Os critérios de observação e análise adotados para este trabalho em relação às variáveis da Bacia foram adaptados de Tagliani (2002), sendo que a variável declividade teve como critério de análise o ângulo do terreno; a pedologia teve a espessura e densidade do solo; a litologia teve a tipologia das rochas; o uso e cobertura do solo teve o tipo de proteção do solo; e as curvaturas vertical e horizontal teve as formas de terreno.

Resultados

O cálculo e a adoção dos pesos segundo as características do meio físico das variáveis declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal, encontram-se dispostos na Tabela 1, segundo Tricart (1977) e Ross (1994), adaptada pelo Autor.

Tabela 1. Pesos adotados segundo as características das variáveis

Variáveis	Pesos Adotados	Variáveis	Pesos Adotados
Declividade		Pedologia	
< 5%	0,02	Cambissolos	0,13
5 a 12%	0,03	Área Urbana	0,20
12 a 30%	0,38	Latosolos	0,68
30 a 47%	0,41	Afloramentos Rochosos	0,00
> 47%	0,16	Argissolos	0,00
Litologia		Neossolos	0,00
Rochas Ígneas		Uso e Cobertura do Solo	
Gabro	0,00	Lagos	0,00
Gnaisse	0,00	Floresta (Mata Atlântica)	0,04
Granito, diorito e granodiorito; e Metadiorito, metatonalito, metagabro e gnaisse granulítico.	0,65	Eucaliptos e Pinheiros	0,01
		Floresta Inicial e Média	0,26
Quartzito	0,00	Pastagens e Forragens	0,19
Ortognaisse de composição granítica.	0,14	Agricultura	0,01
Rochas Metamórficas		Área Degradada	0,01
Anfibólio gnaisse	0,00	Afloramentos Rochosos	0,00
Biotita gnaisse	0,04	Área Urbana	0,48
Rochas Sedimentares			
Colúvio; e Sedimentos aluvionar e coluvionar.	0,17		
Curvatura Vertical		Curvatura Horizontal	
Muito Convexa	0,03	Muito Divergente	0,10
Convexa	0,08	Divergente	0,10
Retilínea	0,27	Planar	0,19
Côncava	0,39	Convergente	0,33
Muito Côncava	0,23	Muito Convergente	0,28

Para calcular a vulnerabilidade (V) da Bacia a deslizamentos de terra foi preciso inicialmente calcular a suscetibilidade (S) do local (Equação 1).

$$S = \frac{\sqrt{Vdc} + \sqrt{Vpd} + \sqrt{Vli} + \sqrt{Vus} + \sqrt{Vcv} + \sqrt{Vch}}{NVA} \quad (1)$$

Em seguida, indicadores de precipitação de chuvas ocorridas na Bacia estudada foram incluídos no processo de cálculo e então se criou a Equação 2.

$$V = \frac{\left(\frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{PD}{CPC} \right) + \left(\frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2} \quad (2)$$

Onde:

- V é vulnerabilidade;
- $\sqrt{V_{dc}}$ é a raiz quadrada da variável declividade;
- $\sqrt{V_{pd}}$ raiz quadrada da variável pedologia;
- $\sqrt{V_{li}}$ raiz quadrada da variável litologia;
- $\sqrt{V_{us}}$ raiz quadrada da variável uso e cobertura do solo;
- $\sqrt{V_{cv}}$ raiz quadrada da variável curvatura vertical;
- $\sqrt{V_{ch}}$ raiz quadrada da variável curvatura horizontal;
- NVA é o número de variáveis (6);
- PD é a precipitação diária;
- CPC é o coeficiente de precipitação crítica (70 mm/24 horas);
- PA5 é a precipitação acumulada de 5 dias; e
- MAXPA5 é a máxima precipitação acumulada de 5 dias da série histórica: 01/01/1995 a 19/03/2013.

Desta série histórica (01/01/1995 a 19/03/2013), quatro dias (19/01/2005; 04/01/2007; 12/01/2011; e 18/03/2013), aqui chamados por “dia do evento”, tiveram seus dados

separados para serem analisados, pois nestes foi registrada no Município de Nova Friburgo uma precipitação diária de chuva (PD) superior a 80 mm, conforme a seguir:

- Em 19/01/2005 a PD foi de 84,7 mm, a precipitação acumulada de 5 dias (PA5) foi de 117,5 mm e no dia anterior (18/01/2005) foi de 32,8 mm, sem ocorrência de deslizamentos de terra;
- Em 04/01/2007 a PD foi de 97,3 mm, a PA5 foi de 176,3 mm e no dia anterior (03/01/2007) foi de 88,6 mm, ocasionando 350 deslizamentos de terra;
- Em 12/01/2011 a PD foi de 136,0 mm, a PA5 foi de 219,9 mm e no dia anterior (11/01/2011) foi de 85,0 mm, ocasionando 183 deslizamentos de terra; e
- Em 18/03/2013 a PD foi de 105,1 mm, a PA5 foi de 131,6 mm e no dia anterior foi de 26,8 mm, sem ocorrência de deslizamentos de terra.

Discussão dos Resultados

Observou-se que nos eventos ocorridos em 04/01/2007 e em 12/01/2011, houve respectivamente 350 e 183 deslizamentos de terra, devido à precipitação de chuva iniciada um dia anterior (03/01/2007 e 11/01/2011) aos dias dos eventos, com sua elevação e continuidade nos dias dos eventos. Já os eventos de 04/01/2007 e de 18/03/2013, a alta precipitação de chuva ocorreu somente nestas datas, insuficiente para a ocorrência dos deslizamentos de terra. Daí a importância de se analisar a PA5, no caso de previsão de deslizamentos de terra, sempre para o mínimo dois (2) dias.

Os mapas de vulnerabilidade da Bacia foram gerados por meio do software ArcGIS 10.1® (ESRI 2010), com a sobreposição dos mapas das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, com suas respectivas informações, incluindo os índices de vulnerabilidade da Bacia.

O mapa gerado para a vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra (Figura 1) é idêntico para o 5º, 4º e 3º dia anteriores ao dia do evento, respectivamente os dias 07, 08 e 09 de janeiro de 2011.

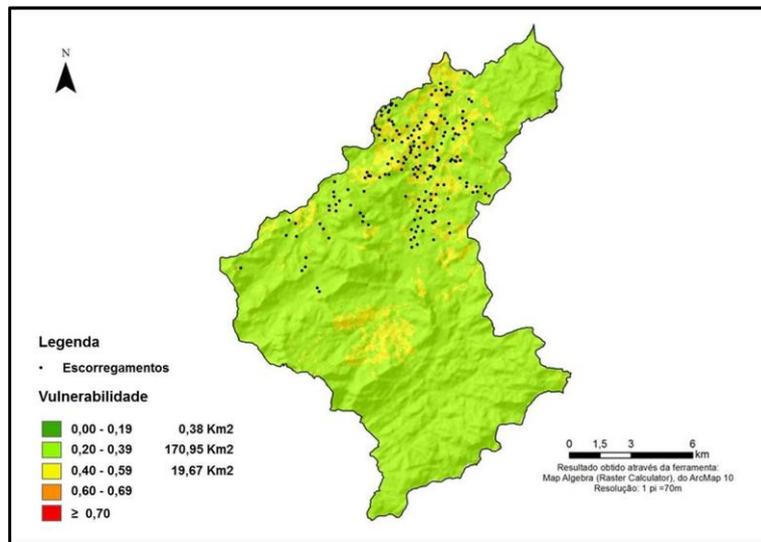


Figura 1. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra para os dias 07, 08 e 09 de janeiro de 2011 (5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento).

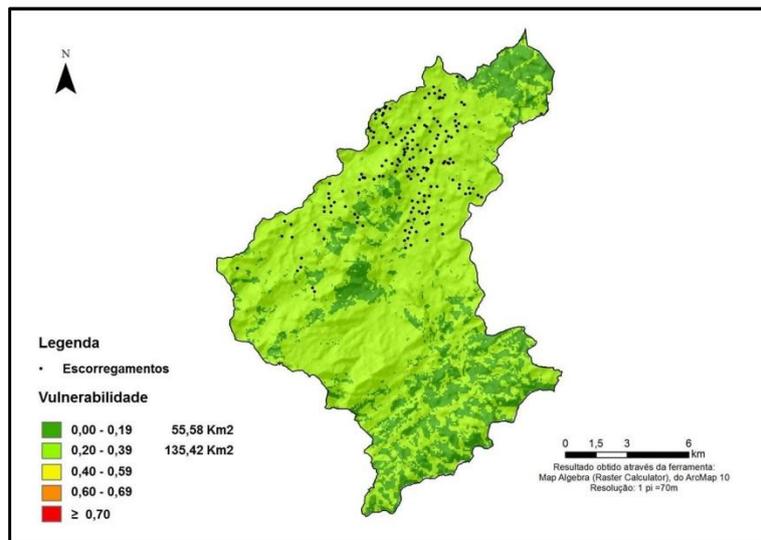


Figura 2. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra para o dia 10 de janeiro de 2011 (2º dia antes do dia do evento).

A Figura 2 apresenta o mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra, gerado para o dia 10 de janeiro de 2011 (2º dia anterior ao dia do evento).

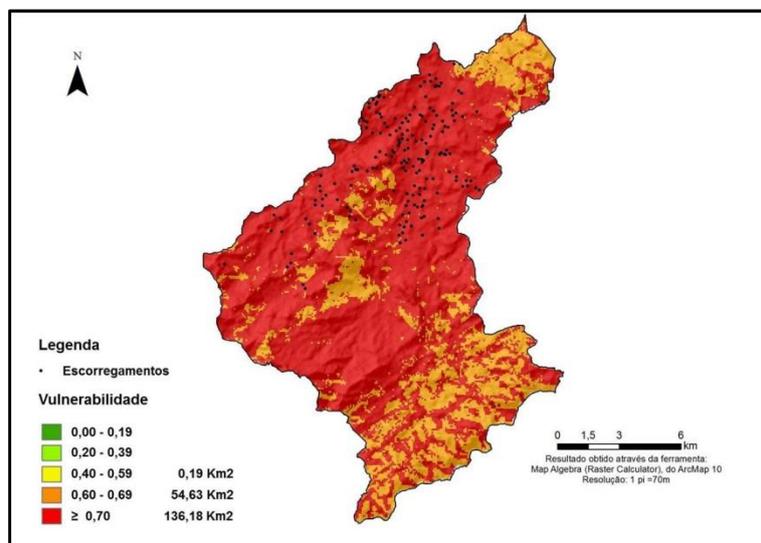


Figura 3. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 (1º dia antes do dia do evento e o dia do evento).

O mapa de vulnerabilidade gerado (Figura 3) para o 1º dia anterior ao dia do evento (11/01/2011), bem como para o próprio dia do evento (12/01/2011), data em que ocorreram 183 deslizamentos de terra na Bacia, também foi idêntico.

Foi observado na Figura 3 que a metodologia aplicada indicou duas grandes classes de vulnerabilidade - muito alta e alta - que correspondem respectivamente a 136,18 Km² e 54,63 Km² da Bacia do Rio Bengalas. Porém, os índices adotados para as classes de vulnerabilidade ora padronizados neste trabalho não permitem um maior detalhamento de observação e análise de quais são as áreas da Bacia do Rio Bengalas mais vulneráveis a deslizamentos de terra. A primeira impressão é de que toda a área de

estudo apresenta a mesma característica. Para tanto, a técnica de álgebra de mapas aplicada a partir da ponderação de todos os mapas temáticos resulta em valores numéricos contínuos que permitem outras formas de categorização da vulnerabilidade, caso seja necessário avaliar as áreas mais ou menos críticas da bacia.

Assim, optou-se por reclassificar os índices de vulnerabilidade a deslizamentos de terra calculados para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a partir do fatiamento destes índices para que a análise pudesse ser mais minuciosa (Figura 4).

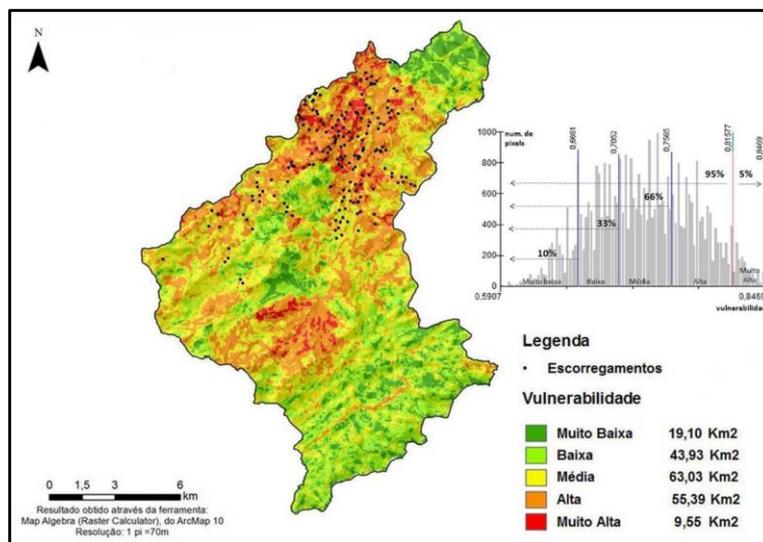


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, representando os 5% mais críticos da Bacia.

Na Figura 4 apresenta-se a alternativa para o caso, que trata da divisão das classes de vulnerabilidade a partir de percentis encontrados no histograma resultante da álgebra de mapas para os dias 11 e 12 de janeiro de 2011.

Este tipo de classificação é feito para vários fenômenos da natureza, onde se procura definir um limiar crítico que, a partir deste, há a ocorrência de eventos considerados extremos/raros (espacial e temporalmente).

Isto ocorre, por exemplo, na análise de dados pluviométricos. No caso, a distribuição temporal das chuvas ao longo de um determinado período (anual ou decadal) é avaliada estatisticamente, de forma que as chuvas que correspondem ao chamado percentil 99% são àquelas consideradas como eventos muito extremos. Ou seja, são chuvas que não ocorrem 99% das vezes em uma região ao longo de um determinado período.

Para o caso da vulnerabilidade, procurou-se traçar tais percentis com o objetivo de definir as áreas da Bacia do Rio Bengalas que representam situação muito crítica, ou seja, de muito alta vulnerabilidade a estes tipos de desastres.

Na literatura existem diversos estudos validados que indicam que a classe mais crítica ocupa, normalmente, entre 3,5% e 8,0% das bacias analisadas (kayastha et al. 2013, Bai et al. 2009, Ayalew et al. 2004, Akinci et al. 2011).

Assim, o limite para a classe de vulnerabilidade “muito alta” foi traçado para o percentil 95%, como opção de visualização dos resultados apresentados no mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra (Figura 4). Isto significa que a classe de vulnerabilidade “muito alta” está acima de 95% dos valores encontrados dentro da Bacia do Rio Bengalas, representando conseqüentemente os 5% mais críticos da Bacia em relação a deslizamentos de terra. Ressalta-se que as demais classes de vulnerabilidade – muito baixa; baixa; média; e alta – também foram traçadas com base nos valores encontrados na literatura, de forma que a classe menos crítica representa o percentil 10% e as demais classes foram colocadas equidistantes uma das outras, conforme resultado apresentado na Figura 4.

Foram contabilizados 35.318 pixels no mapa de vulnerabilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra. Tendo em vista que a classe “muito alta” representa os 5% mais críticos da Bacia, tal classe tem 5% do total de pixels, ou seja, possui 1.766 pixels. Sarkar & Kanungo (2004), em estudo realizado em Darjeeling, região montanhosa da Cordilheira do Himalaia, Índia, as frequências de deslizamentos de terra por Km² e por classes calculadas por eles foram “muito baixa: 0,00”; “baixa: 0,16”; “moderada: 0,50”; e “alta: 1,79”.

Conclusão

Foi possível criar uma metodologia específica capaz de calcular índices de vulnerabilidade a deslizamentos de terra, que poderá ser utilizada universalmente por centros de pesquisas e demais instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão de deslizamentos de terra.

Além disso, se mostrou eficaz no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade, tendo sido aplicada para quatro (4) eventos de alta precipitação de chuvas que houve no Município de Nova Friburgo, eficiente nas quatro (4) situações e comprovando que se trata de uma metodologia que pode ser utilizada universalmente por centros de pesquisas e demais instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão de deslizamentos de terra.

Foi observado que quando o índice de vulnerabilidade a deslizamentos de terra for maior ou igual a 0,70 (limiar crítico) para dois (2) dias subsequentes, conforme proposto neste trabalho, a incidência destes tipos de desastres é “muito alta”. Para tanto, destaca-se a importância de se analisar a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) de no mínimo dois (2) dias.

A partir da análise dos pixels do mapa de vulnerabilidade a deslizamentos de terra, se a frequência destes desastres por Km² apurada neste trabalho para a classe “alta: 2,57”, for comparada à frequência obtida da classe “alta: 1,79” do trabalho validado por Sarkar & Kanungo (2004), conclui-se que o resultado aqui encontrado está acima daquele encontrado pelos autores, de modo que este tipo de classificação através dos percentis é capaz de representar bem a situação crítica que corresponde aos deslizamentos de terra.

Referências

Akinci, H., Doğan, S., Kiliçoğlu, C., Temiz, M. S. (2011). *Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using frequency ratio method*. Geomatics Engineering, Ondokuz Mayıs University, 55139, Kurupelit/Samsun, Turkey. Kavak Vocational School, Ondokuz Mayıs University, Kavak/Samsun, Turkey. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(5), pp. 1015-1025, 4 March, 2011. DOI: 10.5897/IJPS11.133. Academic Journals. 2011.

Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N. (2004). *Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan*. DOI 10.1007/s10346-003-0006-9. School of Natural Resources. University of Arizona. 2004.

Bai, S-B., Wang, J., Lü, G-N., Zhou, P-G., Hou, S-S., Xu, S-N. (2009). *GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area, China*. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097

(China). China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081 (China).
ELSEVIER. Vol. 19, Issue 1, February 2009, Pages 14–20.

Braga, T.M., Oliveira, E.L., Givisiez, G.H.N. (2006). *Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática*. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 81-95, jan./mar. 2006.

Brauch, H. G. (2005). *Treats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security*. Bonn: SOURCE (Studies of the University: research, counsel, education)/UNU-EHS, n. 1, 2005.

Cardona, O. D. et al. (2005). *System of indicators for disaster risk management: main technical report*. Manizales - Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank, 2005.

Dilley, M.R.S., Chen, B., Deichmann, U., Lerner-Lam, A., Arnold, M. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis*. Washington: World Bank Publications, 2005.

ESRI. (2010). ArcGIS (Versão 10.1) [*Software de processamento digital de imagens de satélites*]. Los Angeles, Estados Unidos; Environmental Systems Research Institute, Inc.

Kayastha, P., Dhital, M. R., Smedt, F. (2013). *Evaluation and Comparison of GIS based Landslide Susceptibility Mapping Procedures in Kulekhani Watershed, Nepal*.

Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium. Mountain Risk Engineering Unit, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. Central Department of Geology, Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal. Journal Geological Society of India. Vol.81, February 2013, pp.219-231.

Mello, A. Y. I., D'Antona, A. O., Alves, H. P., Carmo, R. L. (2010). *Análise da Vulnerabilidade Socioambiental nas Áreas Urbanas do Litoral Norte de São Paulo*. In: Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, 3, Florianópolis. Anais. Campinas: ANPPAS, 2010.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. (2005). *Mudança do Clima*. Brasília: NAE, Secretaria do Governo e Gestão Estratégica.

Ross, J. L. S. (1994). *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*. Revista do Departamento de Geografia, n. 8, São Paulo: FFLCH/USP, 1994.

Sarkar, S., Kanungo, D. P. (2004). *An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING. Vol. 70, No. 5, May 2004, pp. 617-625.

Tagliani, C. R. A. (2002). *Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações*. Galeria de artigos acadêmicos. Recuperado em 10 janeiro 2012, de www.fatorgis.com.br.

Tricart, J. (1977). *Recursos Naturais e Meio Ambiente*. Ecodinâmica, Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977, 91p.

UN - United Nations. (2005). *World Conference on Disaster Reduction*. Kobe: UNGA; jan. 2005.

UNDP - United Nations Development Programme. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.