

Suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra

Susceptibility to landslides of the River Basin Bengalas

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.

Marcelo Barbio Rosa

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, marcelo.barbio@cptec.inpe.br, Tecnologista.

José Marcio da Silva Britto

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, marcio.britto@cptec.inpe.br, Bolsista.

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.

Resumo

Deslizamentos de terra vêm ocorrendo frequentemente devido ao crescimento desordenado das cidades e à ocupação de áreas de risco pela população mais carente, causando impactos sociais, ambientais e econômicos. 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, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este artigo tem por objetivo apresentar a avaliação da suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas 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. Para este artigo foram feitas diversas investigações relacionadas às áreas da bacia, como declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e 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

Landslides have frequently occurred due to the disorderly growth of the cities and the occupation of risk areas by the poor population, causing social, environmental and economic impacts. 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, State of Rio de Janeiro, Brazil. This article aims to present the model survey to assess the susceptibility of the Basin of River Bengalas to landslides, which in January 2011, with the occurrence of heavy rains, caused landslides that impacted in the death of 429 people in the city. 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

Deslizamentos de terra vêm ocorrendo frequentemente nos últimos anos, devido ao crescimento desordenado das cidades e à ocupação de áreas de risco pela população mais carente, causando impactos sociais, ambientais e econômicos.

Para um ordenamento do território eficaz e uma gestão equilibrada do risco, é necessário conhecer a instabilidade geomorfológica presente e passada e a predisposição do território para a ocorrência de movimentos (Zêzere 2007).

Este conhecimento implica a avaliação da suscetibilidade, entendida por Soeters & van Westen (1996) como a propensão do território para a ocorrência de um tipo particular de movimento de terra, com base em um conjunto de fatores de predisposição à instabilidade geomorfológica.

Atualmente, a avaliação da suscetibilidade é dominada pelo recurso a métodos de cartografia indireta, de onde se destacam aqueles de base estatística (Guzzetti et al. 2000, Chacón et al. 2006).

Com a utilização destes métodos, a ponderação dos fatores (variáveis neste trabalho) que condicionam a instabilidade é obtida através da sua representação cartográfica e da análise das suas relações espaciais com a distribuição dos movimentos de terra ocorridos.

O mapeamento de suscetibilidade é o primeiro passo no sentido de mitigar efetivamente as áreas suscetíveis a deslizamentos de terra, para minimizar as consequências negativas destes eventos na sociedade.

Neste trabalho a suscetibilidade a deslizamentos de terra é entendida como sendo a disposição, a tendência ou a sensibilidade que uma determinada área geográfica tem em sofrer este tipo de desastre.

Para tanto, para que a suscetibilidade a deslizamentos de terra de qualquer área seja medida, são necessárias análises detalhadas de variáveis ambientais, como a declividade, a pedologia, a litologia, o uso e cobertura do solo, a curvatura vertical e a curvatura horizontal.

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 o levantamento realizado para avaliar a suscetibilidade da Bacia do Rio Bengalas a deslizamentos de terra, que em janeiro de 2011, com a ocorrência de fortes chuvas, estes desastres impactaram na morte de 429 pessoas somente no Município de Nova Friburgo.

Desenvolvimento do Tema

Metodologia

Ermini et al. (2005) empregaram uma abordagem não paramétrica, baseada em redes neurais artificiais (RNA), para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa nos Montes Apeninos Setentrionais (Itália), considerando critérios de litologia, declividade, curvatura vertical de terreno, cobertura da terra e área de contribuição à montante. Nessa mesma linha metodológica Chauhan et al. (2010) produziram um mapa de zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos a partir de RNA, levando em conta diversas variáveis condicionantes como declividade, densidade de drenagem, orientação de vertentes, relevo relativo, litologia, falhas, cobertura e uso da terra.

Pradhan et al. (2006) consideraram fatores como cobertura da terra, geologia, lineamentos, falhas, geomorfologia e drenagem, extraídos a partir de imagens de satélite, a fim de conduzir, por meio do método booleano, uma análise de suscetibilidade a deslizamentos para uma região tectonicamente ativa no Himalaia central. Os Autores concluíram que áreas com alta densidade de lineamentos, de moderada a baixa densidade de drenagem e alta declividade são as mais vulneráveis a deslizamentos.

Já neste trabalho os procedimentos metodológicos foram apoiados em Crepani et al. (2001), onde as variáveis comparadas têm a mesma importância, com adaptações dos Autores. Para tanto, as variáveis estudadas neste trabalho são: declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal, enquanto que o método utilizado foi o heurístico, pois são aqueles que levam a soluções viáveis através de avaliações baseadas nas características dos problemas, com o objetivo de encontrar boas soluções (Carneiro 2010).

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 suscetibilidade a deslizamentos de terra, enquanto que àqueles mais próximos de 1,00 indicam classes de elevada relação. Assim, para cada uma delas foram adotados pesos de acordo com suas classes, podendo variar de 0,00 a 1,00, sendo de 0,00 a 0,19 (muito baixa); de 0,20 a 0,39 (baixa); de 0,40 a 0,59 (média); de 0,60 a 0,69 (alta); e \geq a 0,70 (muito alta suscetibilidade).

Os dados georreferenciados da Bacia do Rio Bengalas foram fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), tratados por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para que as informações espaciais representem da melhor forma possível a suscetibilidade da Bacia a deslizamentos de terra.

No caso, foi utilizado o software ArcGIS 10.1® (ESRI 2010) o desenvolvimento das operações de geoprocessamento com a extensão *Spatial Analyst*, com cálculos de operações algébricas dos valores atribuídos às classes de cada variável disponibilizada em formato *raster*, utilizando a ferramenta *raster calculator*.

Resultados

Foram levantados 183 deslizamentos de terra ocorridos na Bacia do Rio Bengalas em 12/01/2011, atingindo comunidades de baixo e de alto poder aquisitivo (Figura 1). Prédios e habitações foram destruídos, comprometendo os serviços de abastecimento de água, energia elétrica e de telefonia. Além disso, tais deslizamentos de terra impactaram na morte de 429 pessoas no Município de Nova Friburgo.

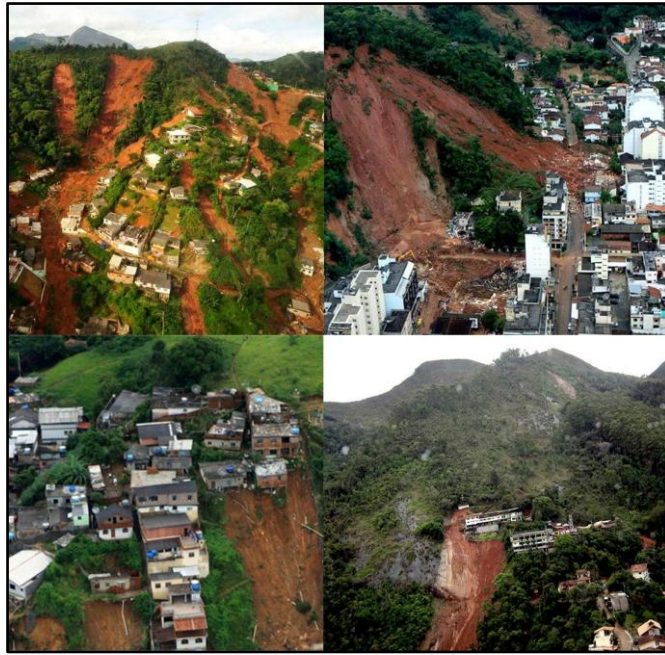


Figura 1. Deslizamentos de terra

De posse dos índices de suscetibilidade levantados a partir dos pesos adotados para cada classe das variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal” e após o cálculo baseado na Equação 1, procedeu-se a geração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos de terra da Bacia do Rio Bengalas (Figura 2).

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

Na equação para cálculo de suscetibilidade (S), onde: Vdc (pesos adotados para a variável declividade); Vpd (variável pedologia); Vli (variável litologia); Vus (variável uso e cobertura do solo); Vcv (variável curvatura vertical); Vch (variável curvatura horizontal); e NVA é o número de variáveis (6).

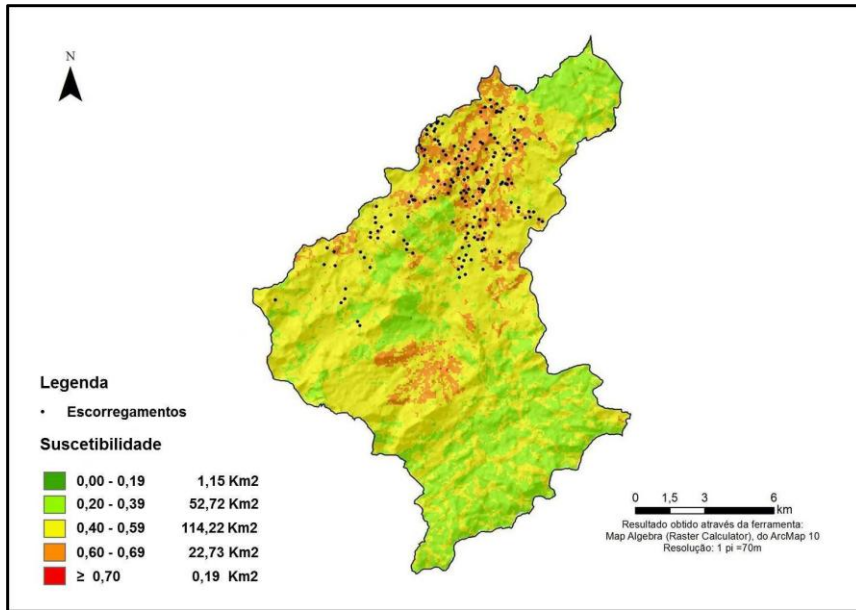


Figura 2. Mapa de suscetibilidade

A partir dos cálculos de suscetibilidade a deslizamentos de terra, foram gerados o Índice Médio de Suscetibilidade da Variável (IMSV) e o Índice Médio Geral de Suscetibilidade (IMGS) da Bacia (Figura 3).

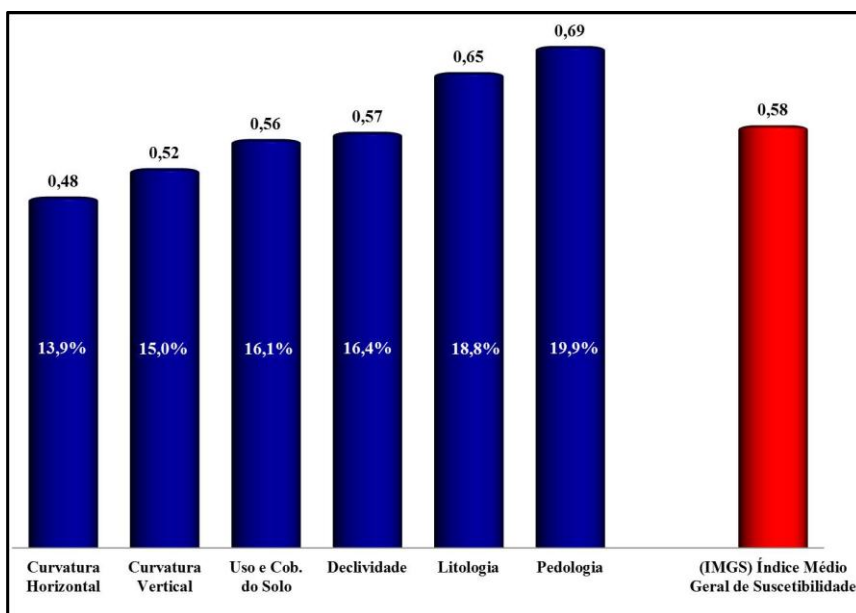


Figura 3. IMSV e IMGS

Discussão dos Resultados

Visivelmente o mapa de suscetibilidade mostra que das áreas da Bacia, 114,22 Km² são classificadas como sendo de média suscetibilidade, 52,72 Km² de baixa suscetibilidade e 22,73 Km² de alta suscetibilidade a deslizamentos de terra. Imperceptíveis no mapa, 1,15 Km² da Bacia são áreas de muito baixa suscetibilidade e 0,19 Km² de muito alta suscetibilidade a estes tipos de desastres (Figura 2).

Observa-se na Figura 3 que o IMSV das variáveis “pedologia (0,69)” e “litologia (0,65)” estão acima do IMGS (0,58) e conclui-se que tais variáveis foram determinantes na ocorrência destes deslizamentos de terra.

Segundo os mapeamentos e cálculos realizados, nota-se na Figura 4 que a maioria dos deslizamentos (91,3%) ocorreu em áreas de média e de alta suscetibilidade, o que valida os estudos realizados.

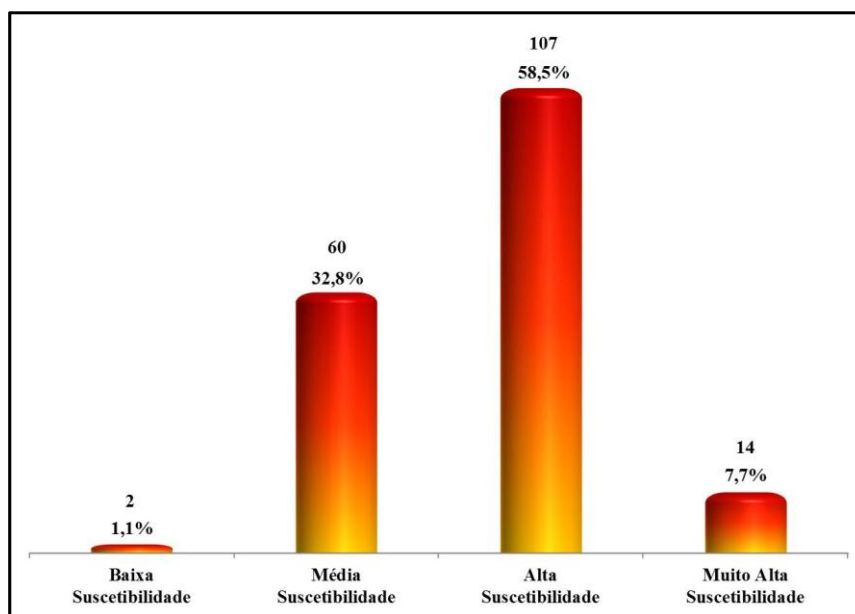


Figura 4. Distribuição do nº de deslizamentos por índices de suscetibilidade

Conclusões

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível criar uma metodologia específica capaz de criar índices de suscetibilidade a deslizamentos de terra (Equação 1), que poderá ser utilizada universalmente por Centros de Pesquisas e demais Instituições que trabalham na prevenção, monitoramento e previsão destes tipos de desastres.

Conclui-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho para a criação de índices de suscetibilidade a deslizamentos de terra, a partir do levantamento de dados ambientais e de precipitação de chuvas ocorridas em 12 de janeiro de 2011 na Bacia do Rio Bengalas, se mostrou eficaz no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade.

Em relação às variáveis “declividade, pedologia, litologia, uso e cobertura do solo, curvatura vertical e curvatura horizontal”, escolhidas para compor a metodologia criada neste trabalho, conclui-se que a combinação de todas elas figura uma melhor caracterização das formas do terreno da Bacia do Rio Bengalas, o que facilita a gestão do parcelamento, uso e ocupação do solo.

Referências Bibliográficas

Carneiro, F. M. (2010). *Avaliação de Métodos Heurísticos para a Solução de Problemas de Programação Flowshop com Tempos de Setup Assimétricos e Dependentes da Sequência*. Escola de Engenharia Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Chacón J., Irigaray C., Fernández T., Hamdouni R. E. (2006). *Engineering geology maps: landslides and geographical information systems*. *Engineering Geology*, 65: 341-411.

Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M.K., Gupta, N.K. (2010). *Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 12, p. 340-350, 2010.

Crepani, E. M., Medeiros, J. S. de, Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001 (INPE-8454-RPQ/72). 124 p.

Ermini, L., Catani, F., Casagli, N. (2005). *Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment*. *Geomorphology*. v. 66, p. 327-343, 2005.

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

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A. (2000). *Comparing landslide maps: a case study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy*. *Environmental Management*, 25 (3): 247-263.

Pradhan, B., Singh, R.P., Buchroithner, M.F. (2006). *Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data*. *Advances in Space Research*, v. 37, p. 698-709, 2006.

Soeters R., van Westen C. J. (1996). *Slope instability recognition, analysis and zonation*. In Turner A K, Schuster R L (Eds.) *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A.: 129-177.

Zêzere J. L. (2007). *Predição probabilística de movimentos de vertente na escala regional*. *Actes de les Jornades sobre Terrasses i Prevenció de Riscos Naturals*. Departament de Medi Ambient, Consell de Mallorca: 17-30.