

Comparação de modelos de estimativa de susceptibilidade a movimentos de massa no município de Niterói-RJ

Dobal, C. (UFF) ; Vicens, R. (UFF)

RESUMO

Utilizando registros de ocorrências de movimentos de massa no município de Niterói, são comparados 5 modelos de estimativa de susceptibilidade: Análise Multicritério, Support Vector Machine, Máxima Entropia, Artificial Neural Network e Regressão Lógica. Foi avaliada a significância das variáveis explanatórias: aspecto, curvatura, declividade, o Topographic Wetness Index, distância aos rios e às Estradas, Índice de Diferença Normalizada da Vegetação, elevação, litologia, solos e cobertura da terra. Diferenças significativas entre os resultados obtidos através dos modelos foram verificadas através de teste de aderência, enquanto o desempenho foi avaliado pela frequência de pontos de validação nas classes de maior susceptibilidade. As ocorrências foram mais sensíveis à distância das estradas, ao NDVI e à elevação. Não foram encontradas diferenças significativas entre os modelos e o de melhor desempenho foi o Support Vector Machine.

PALAVRAS CHAVES

movimentos de massa; estimativas de susceptibilidade; modelos empíricos; significancia estatística; análise de desempenho

ABSTRACT

Using records of mass movement occurrences in the city of Niterói, 5 susceptibility estimation models were compared: Multicriteria Analysis, Support Vector Machine, Maximum Entropy, Artificial Neural Network and Logical Regression. The significance of the explanatory variables was assessed: aspect, curvature, slope, the Topographic Wetness Index, distance to rivers and roads, Normalized Vegetation Difference Index, elevation, lithology, soils and land cover. Significant differences between the results obtained through the models were verified through the adherence test, while the performance was evaluated by the frequency of validation points in the classes of greater susceptibility. Occurrences were more sensitive to distance from roads, NDVI and elevation. No significant differences were found between the models and the best performance was obtained by Support Vector Machine.

INTRODUÇÃO

Os mapeamentos de suscetibilidade à movimentos de massa são uma importante ferramenta para a gestão de riscos e o planejamento de cidades, sendo relevantes não apenas para o zoneamento destas, auxiliando na definição de áreas prioritárias para ocupação, mas também na definição de áreas que apresentam necessidade de obras de infraestrutura (MARCELINO, 2008). Segundo Highland e Bobrowsky (2008), os mapeamentos realizados para gestão de riscos, podem ser divididos em três tipos principais: os mapas de suscetibilidade, os de perigo e os de risco. Os mapeamentos de suscetibilidade demonstram a potencialidade de ocorrência na área, a partir da correlação dos principais fatores que contribuem para o desastre (no caso deste trabalho os movimentos de massa), estes mapas somente indicam áreas com maior potencialidade, não realizam previsões absolutas. Os mapeamentos de perigo se preocupam em mostrar a extensão da área dos processos ameaçadores e por fim, os mapeamentos de risco mostram a relação entre os potenciais perdas e os possíveis efeitos socioeconômicos em uma área. Várias formas de realização destes mapeamentos têm como base métodos empíricos, os quais tem como entradas as amostras (baseados em ocorrências de movimentos de massa) e dados sobre os fatores condicionantes, como por exemplo: topográficos, pedológicos, geológicos, uso do solo (representando a ação humana), pluviosidade, entre outros. No método empírico os índices de suscetibilidade são calculados como valores de probabilidades, como por exemplo o modelo de probabilidade Bayesiano, a regressão lógica, modelo aditivo generalizado, o modelo de valor da informação, entre outros. Métodos

baseados no aprendizado de máquina trabalham com o reconhecimento de padrões por meio de amostras, na qual se destacam a Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Networks (ANN), Random Forest e a Máxima Entropia, cada um com seu algoritmo específico. Também é importante salientar a Análise Multicritério, aonde o peso de cada critério é definido após uma avaliação destes em conjunto, exaltando a relação existente entre eles. Este trabalho tem como objetivo comparar cinco modelos de estimativa de susceptibilidade à movimentos de massa, utilizando como área piloto o município de Niterói e os pontos de ocorrência de movimentos de massa registrados pela defesa civil. Os modelos analisados são: Análise Multicritério, Support Vector Machine, Máxima Entropia, Artificial Neural Network e Regressão Lógica. Ainda, objetiva-se testar a significância estatística de variáveis explanatórias e a sensibilidade que com elas apresenta a distribuição espacial da ocorrência dos eventos de movimentos de massa no município.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados registros de ocorrências de movimentos de massa, desde janeiro de 2011, que constam no Inventário de Deslizamentos da Defesa Civil de Niterói. As variáveis de entrada nos modelos de estimativa foram escolhidas depois de uma extensa pesquisa em trabalhos que já utilizaram os métodos citados, pois ainda não há nenhum guia ou padronização dos dados a serem utilizados, devido a variações nas próprias áreas de estudo (ARABAMERI et al., 2019). Assim, foram selecionadas o aspecto, a curvatura, e a declividade das encostas; a elevação, o topographic wetness index (TWI), a distância dos rios, a distância das estradas, o índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI), a litologia, os solos, e a cobertura da terra. Dados relacionados à topografia foram extraídos do DEM/LiDAR, disponibilizado gratuitamente pelo Sistema de Gestão da Geoinformação da Prefeitura de Niterói (SIGEO) <sigeo.niteroi.rj.gov.br>, com resolução espacial de 50 centímetros, reamostrado para resolução de 10 metros. Também através do SIGEO foram adquiridos os dados sobre os logradouros e a hidrografia, visando gerar as grades de distância às estradas e aos rios. Os dados sobre os solos foram adquiridos em <geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aosolos_lat_long_wgs84>, os dados de geologia em <<https://geosgb.cprm.gov.br>> e as imagens do satélite Landsat 8, cena L082171762021156, para geração do NDVI, em <www.dgi.inpe.br/catalogo>. Os dados de ocorrência da defesa civil foram pré-processados e dados sem coordenadas foram georreferenciados através do Google Earth e os pontos com descrição diferente de movimentos de massa foram excluídos. Em total, 1828 ocorrências foram divididas em pontos de treino e de teste, resultando em 914 amostras para cada etapa do processamento. O mesmo número de pontos foi gerado através de amostragem aleatória estratificada, conservando a proporção de pontos de ocorrência em áreas consideradas planas com menos de 3% de declividade, segundo Ramalho-Filho e Beek (1995). Foram aplicados testes estatísticos paramétricos e não-paramétricos para obter a significância estatística de cada uma das variáveis selecionadas. Para variáveis obtidas por mensuração foi utilizado o teste t- Student e para variáveis na escala nominal, o teste de Komogorov-Smirnov. As variáveis encontradas significativas para um nível de significância estatística $\alpha=0,1$ foram ponderadas segundo a distância máxima no teste Kolmogorov-Smirnov e inseridas como inputs no modelo baseado em ponderação (análise multicritério). Os modelos utilizados para estimar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, isto é: a análise multicritério, a máxima entropia, support vector machine (SVM), as redes neurais artificiais (ANN) e a regressão lógica, foram rodados utilizando as variáveis que resultaram significativas, em oito cenários com diferentes arranjos de variáveis. Com isto foram obtidos 8 resultados para cada um dos cinco métodos, totalizando 40 mapeamentos de suscetibilidade. Para comparação entre os modelos, foram utilizados os 914 pontos de validação, selecionados os melhores resultados obtidos dentre os cenários utilizados (combinação de variáveis), considerando as ocorrências nas duas classes de maior probabilidade. Diferenças significativas entre os modelos foram procuradas por teste Qui-quadrado e o desempenho dos modelos foi comparado segundo a frequência de ocorrência de movimentos de massa nas duas classes de maior probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da significância estatística indicou que todas as variáveis mensuradas na escala de razão, resultaram significativas para $\alpha=0,10$. Já nenhuma das variáveis nominais resultou significativa e, por esse motivo, foram descartadas como variáveis de entrada nos modelos. As ocorrências de

movimentos de massa se mostraram mais sensíveis à distância aos rios, NDVI, elevação, distância aos rios e curvatura das encostas, com valores de significância (p-value) inferiores a 0,01. A exposição das encostas resultou significativa para $\alpha=0,05$ enquanto o TWI e a declividade resultaram significativas apenas para $\alpha=0,10$. A declividade foi a variável que apresentou menor relevância na localização dos eventos ocorridos no município, com o menor valor t-Student (tabela 1). Tabela 1 Tendo como base os resultados obtidos nos testes de significância estatística, foram propostos 8 cenários de arranjo de variáveis explanatórias, levando em conta a relevância das variáveis e a redundância entre algumas delas. Os cinco modelos foram rodados para cada conjunto de variáveis explanatórias e os resultados comparados segundo a proporção de pontos de ocorrências de movimentos de massa que coincidem com valores modelados de susceptibilidade superiores a 0,6 de probabilidade de ocorrência. Os 8 cenários de arranjo de variáveis explanatórias são apresentados na tabela 2, que contém ainda a proporção de pontos de ocorrências que coincidiram com classes de susceptibilidades alta ou muito alta a movimentos de massa. Tabela 2. Cenários com diferentes arranjos de variáveis explanatórias e a frequência de ocorrência de movimentos de massa nas classes de alta ou muito alta susceptibilidade, obtidas por cada modelo de estimativa. A Análise Multicritério teve melhor desempenho no cenário que considera todas as variáveis explanatórias. O modelo de aprendizado de máquina Support Vector Machine teve melhor desempenho no cenário cujo arranjo combina variáveis topográficas (elevação, curvatura da encosta e TWI) com a distância às estradas. Os restantes 3 modelos tiveram melhor desempenho no cenário que combina variáveis de distâncias aos rios e ruas, além do índice de vegetação. Os resultados dos modelos para os cenários onde apresentaram melhor desempenho, foram classificados em cinco classes de susceptibilidade a movimentos de massa, para as quais foi realizada a contagem de ocorrências de eventos registrados pela defesa civil. Com a frequência por classes de susceptibilidade, os modelos foram comparados dois a dois num teste não paramétrico (Qui-Quadrado) e não foram achadas diferenças significativas entre eles, para um nível de significância estatístico $\alpha=0,01$. A frequência de ocorrências por classe de susceptibilidade à movimento de massa (tabela 3) permite constatar o "pior" desempenho na estimativa por rede neural artificial que apesar de obter uma alta frequência de acertos quando considerados as duas classes mais altas, o modelo não classificou nenhum ponto de ocorrência na classe mais alta de suscetibilidade. Este modelo, junto com o de Maxima Entropia, apresentam uma grande subestimativa da susceptibilidade em toda a área do município, com a maior parte sendo classificada entre muito baixa a moderada. O melhor desempenho foi obtido pelo modelo de aprendizado de máquina (SVM) com maior frequência de ocorrências coincidindo com valores muito altos de susceptibilidade obtidos pelo modelo. A Análise Multicritério mostrou também um bom desempenho, com uma frequência considerável de ocorrências na classe de maior susceptibilidade. Tabela 3

Tabela 1

Tabela 1. Resultados dos testes t-Student e Kolmogorov-Smirnov (n = 1828)

Tabela 2

Tabela 2. Cenários com diferentes arranjos de variáveis explanatórias e a frequência de ocorrência de movimentos de massa nas classes de alta ou muito alta susceptibilidade, obtidas por cada modelo de estimativa

Tabela 3

Tabela 3. Frequência de ocorrências registradas pela defesa civil de Niterói por classes de susceptibilidade a movimentos de massa estimadas pelos modelos

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos registros de ocorrência de movimentos de massa permitiu a modelagem da

susceptibilidade a estes eventos, apesar das limitações intrínsecas à coleta do dado que prioriza a identificação do local afetado e não a localização do início do processo na encosta. No entanto, a análise comparativa é considerada satisfatória. As variáveis explanatórias que apresentaram maior significância estatística foram as distâncias aos rios e sistema de arruamento e variáveis morfométricas, principalmente a elevação e a curvatura das encostas. Outras variáveis morfométricas como a declividade e a exposição das encostas também resultaram significativas, porém em menor grau. Já a litologia, os solos e o uso da terra não resultaram significativas para a distribuição espacial das ocorrências de movimentos de massa. Os resultados das estimativas de susceptibilidade a movimentos de massa, obtidos pelos modelos comparados neste trabalho, não apresentaram diferenças significativas entre eles e o melhor desempenho foi alcançado pelo modelo de aprendizado de máquina Support Vector Machine. Em geral, os resultados conferem utilidade prática para os modelos de estimativa de susceptibilidade a movimentos de massa, como base para identificação de áreas prioritárias para ações visando a educação ambiental da comunidade e obras de infraestrutura de prevenção aos desastres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ARABAMERI, Alireza; PRADHAN, Biswajeet; REZAEI, Khalil; LEE, Saro; SOHRABI, Masoud. An ensemble model for landslide susceptibility mapping in a forested area. *Geocarto International*, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1680–1705, 2019. DOI: 10.1080/10106049.2019.1585484. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2019.1585484>.
- HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. *The landslide Handbook - A guide to understanding landslides*. Reston, VA, USA: US Geological Survey, 2008. DOI: 10.3133/cir1325.
- MARCELINO, Emerson Vieira. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. *Caderno didático*, v. 1, p. 40, 2008.
- RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995.