

ZONEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO PARAIBUNA – MG/RJ

Rosana Lino de Faria *
Deborah Cristina Gomes de Oliveira **
Ricardo Tavares Zaidan ***

RESUMO

Os escorregamentos são eventos de ordem natural, ou induzida, que fazem parte da dinâmica externa de modelagem da superfície terrestre. Grandes esforços têm sido feitos para entender e prever os processos envolvidos na ocorrência desse tipo de fenômeno a fim de orientar um melhor planejamento das cidades e a ocupação humana minimizando assim o risco sob a população e seus patrimônios. O desenvolvimento de metodologias visando a previsão de movimentos de massa e seus condicionantes vem sendo destacadas na literatura geomorfológica e geotécnica. Com esse propósito, o modelo matemático determinístico SHALSTAB foi desenvolvido a fim de identificar e mapear as áreas em diversos níveis de instabilidade. Esse modelo é baseado na combinação dos modelos de estabilidade da encosta e no modelo hidrológico, aplicados em ambiente ArcView. Esta metodologia foi aplicada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna MG/RJ objetivando a identificação de suas áreas susceptíveis a escorregamentos. Foram utilizados dados de elevação extraídos do SRTM/EMBRAPA e posteriormente criados mapas de área de contribuição e declividade. Os resultados obtidos apontaram diversas áreas de alta e altíssima instabilidade em toda área da bacia. Desta forma, foi possível afirmar que essa ferramenta é de grande importância para o planejamento urbano visando, principalmente, a segurança patrimonial e humana. É importante ressaltar que este trabalho é parte componente do Projeto Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna apoiado financeiramente pela PROPESQ/UFJF e CNPq.

Palavras-Chave: Escorregamentos, SHALSTAB, Rio Paraibuna.

* Acadêmica do Curso de Geografia / UFJF, e-mail: rosanafariaf@yahoo.com.br

** Acadêmica do Curso de Geografia / UFJF, e-mail: deborahgeo_ufjf@yahoo.com.br

*** Professor orientador do Instituto de Ciências Humanas - UFJF

E-mail: ricardo.zaidan@ufjf.edu.br. Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Campus Universitário, s/nº, CEP 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais responsáveis pela dinâmica e modelagem superficial do relevo terrestre. Sob a forma de várias combinações de quedas e deslizamentos, esses movimentos podem transportar desde pequenas parcelas de solo a toneladas de materiais como solo e rocha. De acordo com os dados da Defesa Civil da ONU (1993), os deslizamentos causaram 2517 mortes ficando abaixo apenas dos prejuízos causados pelos terremotos e inundações. A ocorrência dos escorregamentos está associada a fatores como o crescimento desordenado, acompanhado de ocupação irregular das encostas, falta de manutenção nos cortes de estradas e moradias, desmatamentos, disposição irregular do lixo e das águas servidas, que associados a fatores naturais como longos períodos chuvosos podem aumentar ainda mais os danos sob a população. Dessa forma, a ocorrência de escorregamentos está associada tanto a fatores naturais quanto antrópicos, que em conjunto geram novas relações para a ocorrência destes fenômenos, dificultando ainda mais a sua predição.

No Brasil, a ocorrência de movimentos de massa está associada às condições climáticas, como intensas chuvas de verão, e condições geomorfológicas, como extensos maciços rochosos. Além da frequência elevada dos eventos ocorridos de forma natural, os eventos causados pela ação antrópica vêm aumentando significativamente, devido principalmente à ocupação irregular das encostas, uma vez que os cortes inconsequentes de taludes propiciam uma maior susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

A previsão desses movimentos pode ser dividida em quatro grupos: análise da distribuição dos movimentos no campo, análise baseada em mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos, aplicação de modelos com bases estatísticas e aplicação de modelos matemáticos (FERNANDES *et al.*, 2001). As metodologias baseadas em modelos matemáticos, desenvolvidos em bases físicas, ou seja, baseados em leis físicas da natureza, têm sido cada vez mais utilizados para a predição dos movimentos de massa. Dentre esses modelos, destaca-se o modelo matemático determinístico SHALSTAB (*Shallow Stability*) que foi desenvolvido na Universidade da Califórnia em Berkeley no início da década de 90, e lançado para ambiente Windows através da extensão do software ArcView 3.x já no final da década de 90 (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998).

Este modelo tem sido utilizado nas diversas regiões da costa oeste dos EUA, Itália, Argentina e Nova Zelândia, apresentando resultados satisfatórios (RAFAELLI *et al.*, 2001; CLAESSENS *et al.*, 2005, *apud* ZAIDAN & FERNANDES, 2009). No Brasil, tem sido utilizado nas proximidades do Parque Nacional da Tijuca – RJ (GUIMARÃES, 2000; FERNANDES *et al.*, 2001; GUIMARÃES *et al.*, 2002; FERNANDES *et al.*, 2004; em Minas Gerais nas margens da BR-356 no município de Ouro Preto (REDIVO, *et al.*, 2004), na região do Quadrilátero Ferrífero (RAMOS *et al.*, 2002) e em regiões urbanas (ZAIDAN & FERNANDES, 2009).

A área escolhida para este estudo foi a Bacia do Rio Paraibuna, localizada nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, por apresentar diversas áreas com registros de movimentos de massa.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi criar um Zoneamento de Áreas Susceptíveis a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Rio Paraibuna – MG/RJ. Especificamente buscou-se analisar e classificar a susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos nas porções leste, oeste, norte e sul da Bacia do Paraibuna e, através das imagens do Google Earth analisar uma das áreas de Altíssima Instabilidade no município de Passa Vinte.

METODOLOGIA

A escolha da Bacia do Rio Paraibuna se deu pelo fato desta bacia apresentar diversas áreas com registros de movimentos de massa, e por fazer parte de um projeto maior de Diagnóstico Ambiental. A escala de trabalho adotada foi de 1:250000 pois levou-se em consideração o tamanho da área de estudo, 8.593 km², o que abrange os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, totalizando 37 municípios.

Para o Zoneamento de Áreas Susceptíveis a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Rio Paraibuna MG/RJ foram necessários os dados de elevação da bacia, os cálculos de área de contribuição e declividade e o cálculo da susceptibilidade a escorregamentos. Para a obtenção dos dados de elevação da bacia foram utilizadas as imagens SRTM distribuídas gratuitamente através do site da EMBRAPA. De acordo com a EMBRAPA estes dados altimétricos são precisos para todo território brasileiro, incluindo as áreas topograficamente inacessíveis.

Para a realização deste trabalho utilizou-se quatro imagens SRTM (SF-23-X-C, SF-23-X-D, SF-23-Z-A e SF-23-Z-B) no sistema UTM, referenciado no DATUM SAD-1969 (*South American Datum*) – Zona 23S. Em seguida as imagens passaram pelo processo de mosaicagem através do software ERDAS IMAGINE a fim de que pudessem ser visualizadas conjuntamente. Após realizado o mosaico, a bacia foi dividida em 10 recortes menores para que o tamanho do raster de elevação ficasse entre 1000 linhas x 1000 colunas, limite máximo suportado pelo modelo SHALSTAB na plataforma ArcView 3.3. Em seguida, todas as depressões (elevações que são menores ou iguais a zero) foram preenchidas, uma vez que o modelo SHALSTAB está designado para trabalhar em uma bacia hidrográfica onde as depressões (*sinks*) já estão removidas.

A área de contribuição, definida como a área drenada a montante por uma unidade de contorno, é um cálculo importante para a inferência de deslizamentos (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998). O modelo SHALSTAB calcula este parâmetro hidrológico a partir do escoamento superficial, como descrito por O'Loughlin (1986). Para o cálculo da área de contribuição foi utilizado o modelo SHALSTAB em ambiente ArcView 3.3. Os dados necessários para este cálculo foram obtidos através do modelo de elevação com as depressões removidas (*fill*) o que permitiu então calcular a área de drenagem para cada célula da grade (*grid*).

Para o cálculo da declividade foram utilizados os dados de elevação com *sinks* removidos extraídos do SRTM e o modelo SHALSTAB através do ArcView 3.3. O resultado foi o cálculo (porcentagem) da média local da encosta para cada célula da grade.

Para a obtenção do cálculo da susceptibilidade a escorregamentos foi calculada a proporção da precipitação efetiva q (chuva menos evapotranspiração) para a transmissividade T (capacidade da superfície do terreno em transmitir água encosta abaixo), ou a proporção q/T , para toda a paisagem utilizando o modelo SHALSTAB. Foram utilizados para este cálculo os dados de elevação com *sinks* removidos, a área de contribuição e a declividade. Os parâmetros geotécnicos adotados foram a densidade do solo (1700 kg/m³ – densidade aproximada da maior parte do solo da bacia) e ângulo de fricção do solo de 45° (valor sugerido pelo software). Para este cálculo não foi considerado o fator coesão do solo.

O Zoneamento de Susceptibilidade da Bacia do Rio Paraibuna foi obtido utilizando o limite da bacia extraído da junção das cartas do IBGE. Em relação às classes de instabilidade, o modelo SHALSTAB determina 7 classes, sendo: Incondicionalmente Instável e Saturado – Altíssima Instabilidade, Incondicionalmente Instável e Não Saturado – Alta Instabilidade, Instável e Saturado – Média Alta Instabilidade, Instável e Não Saturado – Média Instabilidade, Estável e Não Saturado – Média-Baixa Instabilidade, Incondicionalmente Estável e Não Saturado – Baixa Instabilidade, Incondicionalmente Estável e Saturado – Baixíssima Instabilidade.

Neste estudo foi destacada a classe Incondicionalmente Instável e Saturado Altíssima Instabilidade por entendermos que nestas áreas há maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Por

corresponderam a pequenas porções ao longo da bacia, a classe Altíssima Instabilidade foi realçada através de pontos na cor vermelha, uma vez que na escala de visualização que abrangeria a bacia na sua totalidade, não seria possível determinar a sua localização.

A partir da calculadora raster no *ArcGis*, foram calculados os valores de cada área de instabilidade. Para isso foi utilizado o campo contagem, que determina o número de células de cada classe, e o valor de cada célula em metros (8105 m²). Em seguida foi feito um gráfico de susceptibilidade a escorregamentos para a Bacia do Rio Paraibuna a partir da relação entre áreas (m²) e classes de instabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se ao Zoneamento de Áreas Susceptíveis a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Paraibuna MG/RJ (Fig. 1). A escala adotada foi de 1:250000 afim de englobar a Bacia do Paraibuna em sua totalidade. Foi destacada a classe Altíssima Instabilidade, uma vez que é nesse tipo de área a maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos.

Devido à inexistência de mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos na área de estudo tornou-se necessário analisar as áreas de altíssima instabilidade através das imagens do Google Earth, na medida em que outras imagens de satélites disponíveis à comunidade acadêmica não possuíam a mesma capacidade de detalhamento dos terrenos. No entanto, apesar das imagens do Google Earth não serem indicadas para análises com precisão métrica de terreno, foi possível identificar diversas áreas com indícios de movimentos de massa pretéritos e que de acordo com o modelo SHALSTAB foram apontadas como de Altíssima Instabilidade.

A análise do zoneamento da bacia foi feita em 2 etapas: a primeira foi observar a distribuição das classes de instabilidade nas porções leste, oeste, norte e sul da bacia e a segunda etapa foi observar através das imagens do Google Earth as características do terreno das áreas apontadas como de Altíssima Instabilidade no município de Passa Vinte como área piloto.

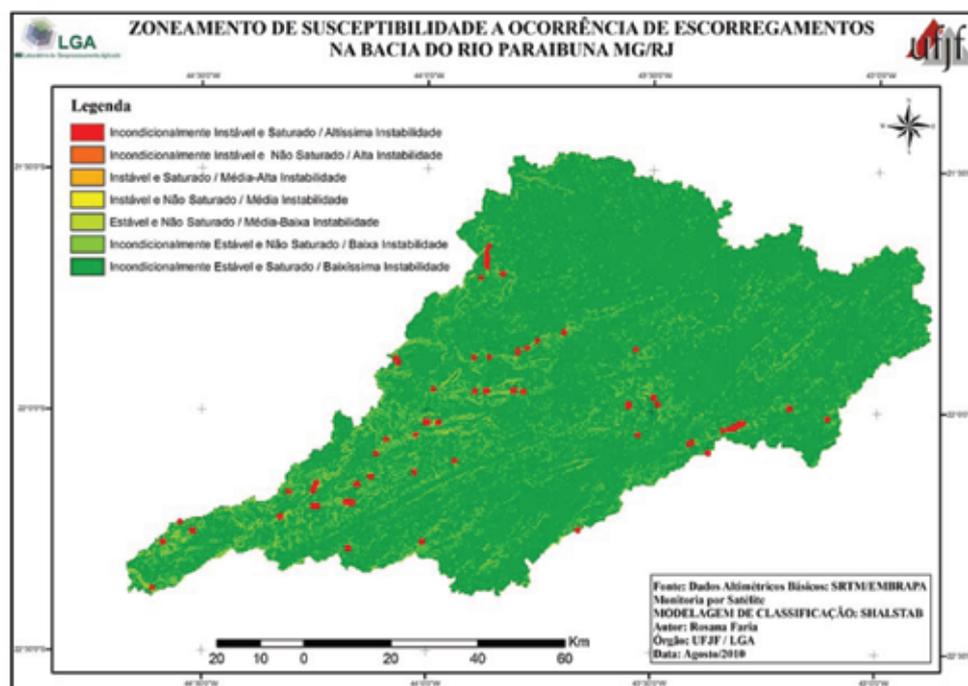


Fig. 1: Representação do mapa de Susceptibilidade a Escorregamentos na Bacia do Paraibuna com destaque em vermelho as áreas de altíssima instabilidade.

De acordo com o Zoneamento de Susceptibilidade a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Paraibuna foi possível afirmar que a porção leste da Bacia concentrou o maior número de áreas classificadas como “Incondicionalmente Instável e Saturado – Altíssima Instabilidade”, o que totaliza uma área de 794.290 m². A porção oeste da bacia foi classificada como a segunda maior a abrigar áreas de Altíssima Instabilidade, com 713.240 m². Em penúltima opção, a porção norte totalizou uma área de 656.505 m² e em último lugar a porção sul com 657.350 m² de áreas de Altíssima Instabilidade.

A figura 2 mostra o gráfico de susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos gerado para a Bacia do Paraibuna. A partir deste gráfico é possível afirmar que as sete classes geradas pelo modelo SHALSTAB são encontradas na bacia, mas a predominante é a classe Baixíssima Instabilidade (7.799.060.081 m²). Em relação à classe Altíssima Instabilidade, cuja área é a mais provável de ocorrência de movimentos de massa, foi encontrado o quarto maior valor de instabilidade (2.731.348 m²). De acordo com o Zoneamento de Susceptibilidade a Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Paraibuna foi possível afirmar que a porção leste da Bacia concentrou o maior número de áreas classificadas como “Incondicionalmente Instável e Saturado – Altíssima Instabilidade”, o que totaliza uma área de 794.290 m². A porção oeste da bacia foi classificada como a segunda maior a abrigar áreas de Altíssima Instabilidade, com 713.240 m². Em penúltima opção, a porção norte totalizou uma área de 656.505 m² e em último lugar a porção sul com 657.350 m² de áreas de Altíssima Instabilidade.

A figura 2 mostra o gráfico de susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos gerado para a Bacia do Paraibuna. A partir deste gráfico é possível afirmar que as sete classes geradas pelo modelo SHALSTAB são encontradas na bacia, mas a predominante é a classe Baixíssima Instabilidade (7.799.060.081 m²). Em relação à classe Altíssima Instabilidade, cuja área é a mais provável de ocorrência de movimentos de massa, foi encontrado o quarto maior valor de instabilidade (2.731.348 m²).

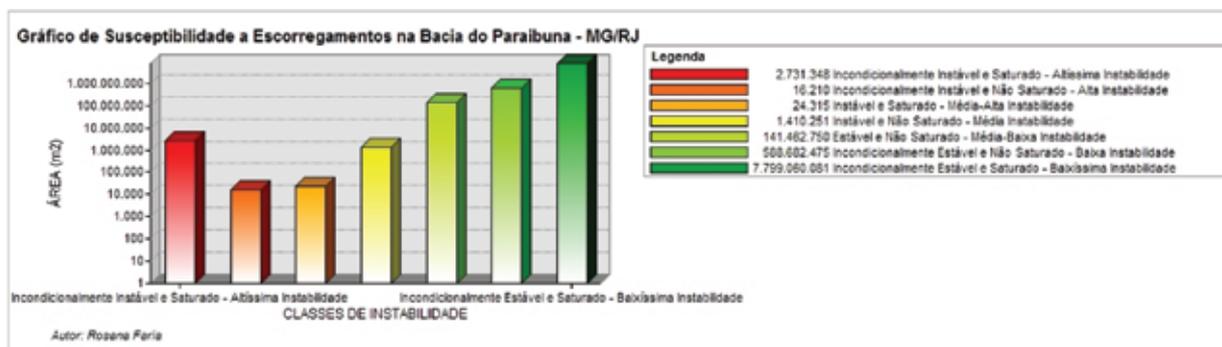


Fig. 2: Gráfico demonstrativo das Classes de Instabilidade a escorregamentos e suas respectivas áreas (m²).

Na segunda etapa deste estudo foi escolhido o município de Passa Vinte para exemplificar as áreas classificadas como de Altíssima Instabilidade (Fig.3). De acordo com o Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos, este município apresentou cinco áreas de altíssima instabilidade, todas com características geomorfológicas semelhantes, como encostas com alta declividade, extensos paredões rochosos, solos expostos. Na primeira imagem do Google é possível visualizar a presença de solo exposto e pouca cobertura vegetal, que em conjunto aumenta o risco de queda ou rolamento de blocos rochosos. Na segunda imagem, é possível visualizar declives acentuados e várias linhas de drenagem o que pode caracterizar deslizamentos pretéritos.

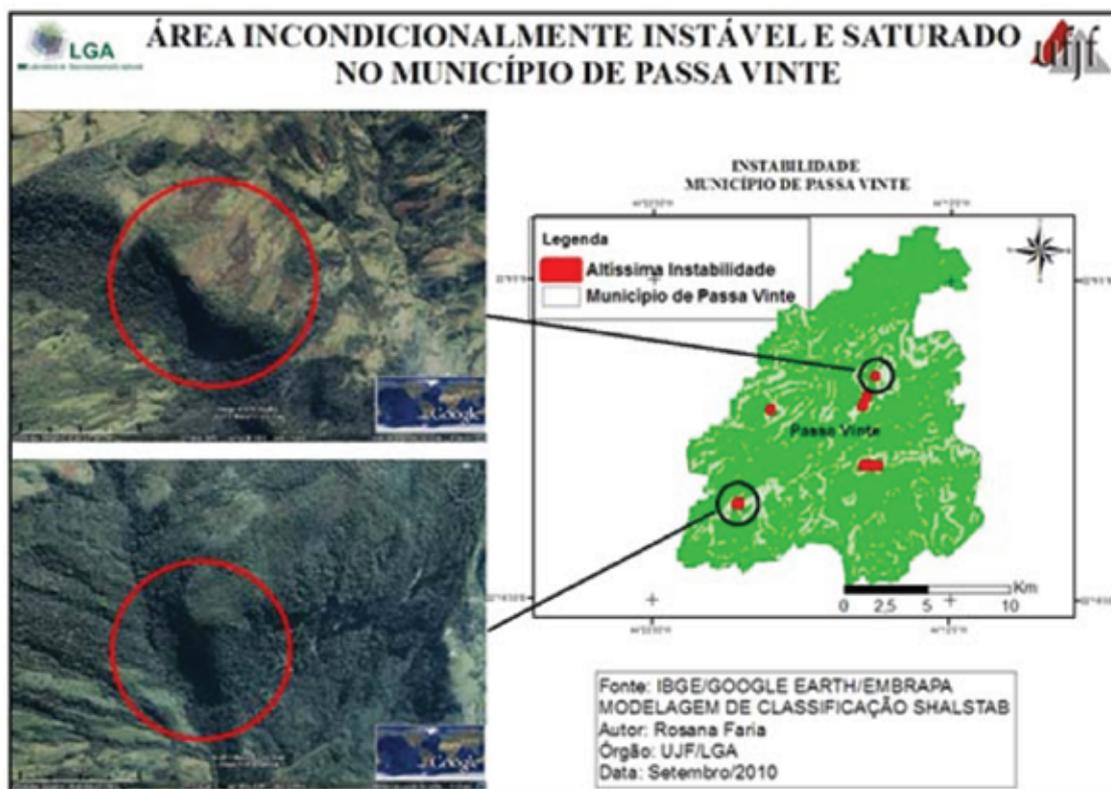


Fig. 3: Altíssima Instabilidade no Município de Passa Vinte.

CONCLUSÃO

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e modelos matemáticos desenvolvidos em bases físicas se mostraram uma ferramenta eficaz para a previsão de áreas susceptíveis a movimentos de massa, uma vez que as áreas apontadas como de Altíssima Instabilidade apresentaram na realidade porções do relevo com características de áreas instáveis.

A escolha da escala cartográfica de análise (1:250000) foi essencial para o estudo de toda a área da Bacia do Paraibuna o que subsidiará futuros estudos de detalhe de cada uma dessas áreas de Altíssima Instabilidade.

Dessa forma, observou-se que a porção da Bacia do Paraibuna que apresenta a maior área de Altíssimo Risco é a porção Leste, seguida das porções Oeste, Norte e Sul respectivamente. Em relação às características geomorfológicas das áreas analisadas foi observado que são constituídas por altas declividades, solo exposto, vegetação esparsa e afloramentos rochosos. A partir das imagens do Google Earth, mesmo não sendo indicadas para esse tipo de análise, foi possível observar também áreas de possíveis escorregamentos pretéritos.

Por fim, conclui-se que este estudo será uma ferramenta importante que subsidiará estudos de maior detalhe para a Bacia do Paraibuna, uma vez que já foram apontadas as áreas de maior instabilidade. Assim sugere-se que estudos posteriores sejam feitos utilizando escalas como de 1:50000, 1:25000, 1:10000, pois assim as áreas urbanas poderão ser analisadas detalhadamente subsidiando um melhor planejamento para o uso e ocupação das encostas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora, ao CNPq e à Universidade Federal de Juiz de Fora por acreditar na importância deste projeto.

ZONING OF THE PERCENTAGE OF HIGH AND VERY HIGH SUSCEPTIBILITY TO THE OCCURRENCE OF LANDSLIDINGS IN TOWNS OF HYDROGRAPHIC BASIN OF PARAIBUNA RIVER.

ABSTRACT

The landslides can either occur naturally or to be induced. They compose the external dynamic of the earth's surface. Great efforts have been done in order to understand and to predict the processes involved in the occurrence of these phenomena in order to guide a better planning of cities and the human occupation, minimizing the risk for the population and their patrimony. The development of methodologies aiming the prediction of mass movements and their relates has been highlighted in the geomorphologic and geotechnical literature. With this purpose, the deterministic mathematical model SHALSTAB was developed in order to identify and to map the areas in different instability levels. This model is based on combination of models applied on stability of hillsides and in the hydrologic model applied on environment ArcView. This methodology was applied in the hydrographic basin of the River Paraibuna MG/RJ aiming the identifying of susceptible areas to landslides over all the basin. It was used elevation data obtained from SRTM/EMBRAPA in order to develop maps of areas of contribution and declivity. The results show several areas of high and very high instability over in this basin. Thus, it is possible to affirm that this tool is of great importance for the urban planning, mainly for the human and patrimonial security. This work is linked to the project Environmental Diagnostic of Hydrographic Basin of the River Paraibuna supported by PROPESQ/UFJF and CNPq.

Key words: Landslides, SHALSTAB, River Paraibuna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLAESSENS, L.; HEUVELINK, G. B. M.; SCHOORL, J. M. & VELDKAMP, A. DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, p. 461-477, 2005.

DIETRICH, W. E. & MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential**. National Council for Air and Stream Improvement. February 1, p.26, 1998.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, F. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. & GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação do modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1. p.51-71, 2001.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. & GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **CATENA**, v. 55, n.2. p.163-181, 2004.

GUIMARÃES, R. F. **A modelagem matemática na avaliação de áreas de riscos a deslizamentos: o exemplo das bacias dos Rios Quitite e Papagaio (RJ)**. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia, UFJF, Rio de Janeiro, 2000.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T. & JÚNIOR, O. A. D. C. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v.2137, p.1-10, 2002.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. **Water Resources Research**, p.794-804, 1986.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Working party on world landslide inventory. **Bulleting of the IAEG**, v. 41, p.5-12, 1993.

RAFAELLI, S. G.; MONTGOMERY, D. R. & GREENBERG, H. M. A comparison of thematic mapping of erosional intensity to GIS-driven process models in an Andean drainage basin. **Journal of Hydrology**, v. 244, p. 33-42, 2001.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. & CARVALHO FILHO, O. A. Aplicação do Modelo SHALSTAB, em ambiente Arcview para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na região do Quadrilátero Ferrífero – MG. **Espaço e Geografia**, v. 5, n.1, p.49-57, 2002.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; JÚNIOR, O. A. D. C. & GOMES, R. A. T. Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR-256 no município de Ouro Preto – MG. **Ciência e Natura – UFSM**, p.31-46, 2004.

ZAIDAN, R. T. & FERNANDES, N.F. Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos em Encostas Aplicado à Bacia de Drenagem Urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.2, p.57-76, 2009.