



[HOME \(/2018/\)](#)

[COMISSÕES \(.././COMISSOES.HTML\)](#)

[ANAIS \(.././ANAIS.HTML\)](#)

# ANÁLISE AUTOMATIZADA DE RELEVO COMO SUBSÍDIO À AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

## Autores

Lamberty, D. (CPRM - SGB / UFSM) ; Trentin, R. (PPG GEOGRAFIA - UFSM) ; Robaina, L.E.S. (PPG GEOGRAFIA - UFSM)

## Resumo

SIGs e as técnicas de geoprocessamento permitem a análise do relevo de forma automatizada, subsidiando diferentes análises da paisagem. Partindo da premissa que os parâmetros geomorfológicos declividade e forma das vertentes são condicionantes importantes dos movimentos de massa e que as geotecnologias permitem a obtenção destes parâmetros de forma automatizada, o presente trabalho tem por objetivo analisar automaticamente as vertentes do Morro da Polícia, localizado em Porto Alegre-RS, a partir de parâmetros geomorfométricos, para subsidiar a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa. O MDE foi gerado a partir de levantamento altimétrico e foi utilizado como dado de entrada para a obtenção dos parâmetros de declividade, discriminada em 5 classes, e as formas da vertente, discriminada em 4 classes. O cruzamento destas duas informações resultou em 20 padrões, nos quais as vertentes ocupadas do Morro da Polícia foram classificadas.

## Palavras chaves

*Declividade; Formas da Vertentes; Movimentos de Massa*

# Introdução

Suscetibilidade, de acordo com o Manual para Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios, indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. (BRASIL; IPT, 2007). Na Nota Técnica do Projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, proposto por CPRM e IPT (2014), suscetibilidade é sintetizada como “propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área”. Reckziegel (2012), por sua vez, avaliou a suscetibilidade como “característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa”. Neste mesmo sentido, Riffel, Guasselli e Bressani (2016) destacam que a suscetibilidade está ligada apenas ao sistema natural, sem levar em consideração as modificações antrópicas sobre o ambiente natural. Os movimentos de massa são movimentos de solo, rocha ou detritos ao longo de uma vertente, que ocorrem a partir da ruptura de uma superfície, na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna, sob efeito direto da gravidade. (CRUDEN, 1991; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA, 2009). Para este trabalho, os movimentos de massa são classificados como rastejo, escorregamentos rotacionais e translacionais, queda de blocos de rocha e fluxos de detritos, baseando-se em Augusto Filho (1992) e CPRM e IPT (2014). A ocorrência de um movimento de massa é resultado da combinação de diversas características de uma região. As características geomorfológicas da paisagem, em especial a declividade e formas da vertente, e as características geológicas da área, tipo de rocha e estruturas, são os fatores apontados como principais condicionantes naturais de movimentos de massa. (e.g. AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998; BIGARELLA, 2003, p. 1026; VAN WESTEN; CASTELLANOS; KURIAKOSE, 2008; KANUNGO et al, 2009; CAMARINHA et al, 2014; ANBALAGAN et al, 2015; CARMO et al, 2016). O advento das geotecnologias, especialmente pautado no Sensoriamento Remoto (SR) e nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitiu o avanço e a automatização de muitos processos nas Geociências, especialmente no tocante à geração de mapas e no cruzamento e integração de informações espaciais. Atualmente, as pesquisas de suscetibilidade a movimentos de massa e mapeamentos de perigo e risco utilizam ferramentas digitais para o manuseio de dados espaciais. (FLORENZANO, 2008; VAN WESTEN; CASTELLANOS; KURIAKOSE, 2008). Quanto à obtenção de parâmetros geomorfológicos, Muñoz (2009) enfatiza que, a partir dos SIGs, obter os atributos de relevo passou a ser um procedimento de mais fácil acesso, possibilitando a classificação e descrição de forma quantitativa das formas da superfície da Terra, utilizando equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica. Partindo da premissa que os parâmetros geomorfológicos declividade e forma das vertentes são condicionantes importantes dos movimentos de massa e que as geotecnologias permitem a obtenção destes parâmetros de forma automatizada a partir de modelos digitais de elevação, o presente trabalho tem por objetivo analisar, automaticamente, as porções de vertente, com ocupação, do Morro da Polícia, localizado em Porto Alegre - RS, a partir de parâmetros geomorfométricos, para subsidiar a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa desta área de estudo.

## Material e métodos

A área que é o foco deste estudo é o Morro da Polícia, um morro de substrato granítico integrado à feição geomorfológica chamada de Crista de Porto Alegre, localizado na região central de Porto Alegre - RS. Com ocupação intensa em seu terço médio e inferior, esta área apresenta potencial e registro de ocorrências de movimentos de massa, especialmente escorregamentos e queda de blocos, conforme apontado por SMAM (1991), Reckziegel (2012), CPRM (2013) e Brito (2014). Optou-se por realizar todas as análises apenas sobre as porções edificadas do morro, uma vez que este trabalho subsidiará análises posteriores de perigo e risco que consideram apenas áreas com ocupação humana. Para a realização deste trabalho utilizou-se a “Base Altimétrica Vetorial Contínua do Município de Porto Alegre - Escala 1:1.000” de Hasenack, Weber e Lucatelli (2010). Esta base forneceu pontos cotados e curvas de nível, a partir dos quais se gerou o modelo digital de elevação (MDE) da área, por meio da

ferramenta Topo to Raster, do software ESRI ArcGIS 10.5. A resolução do MDE é de cinco metros. Tendo o MDE como dado de entrada, foram obtidos, automaticamente em SIG, os parâmetros de declividade e as curvaturas de perfil e de plano das vertentes. A declividade é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal (FLORENZANO, 2008, p.17). Ela está diretamente relacionada à instabilidade, uma vez que representa a componente da força gravitacional que é acentuada com o aumento da inclinação da encosta. (CATANI ET AL, 2005; KANUNGO ET AL, 2009). A declividade está ainda relacionada na indução de fluxos de água e de outros materiais e afeta a velocidade dos fluxos superficiais e subsuperficiais. (KANNAN; SARANATHAN; ANABALAGAN, 2013). Para este trabalho, a declividade foi discriminada em cinco classes: 0 – 15%; 15 – 30%; 30 – 45%; 45 – 60% e >60%. A curvatura do plano, ou curvatura horizontal, é perpendicular à direção de máxima declividade e é relacionado à convergência e divergência de um fluxo pela superfície. Os valores de saída são positivos, negativos ou zero e representam, teoricamente, a divergência, convergência ou linearidade dos planos, respectivamente (ESRI, 2017). O perfil de curvatura, ou a curvatura vertical, refere-se às formas côncavas e convexas do terreno em uma análise de perfil. É paralelo à declividade e indica a direção de máxima declividade. Afeta a aceleração e desaceleração do fluxo pela superfície da encosta e está relacionada à migração e acumulação de água, minerais e matéria orgânica no solo ao longo da superfície, sob ação da gravidade. Valores negativos indicam que a superfície é convexa e que o fluxo é desacelerado. Valores positivos indicam que a superfície é côncava e que o fluxo sofre aceleração. O valor zero indica que a superfície é plana (VALERIANO, 2008, p. 90; ESRI, 2017). No presente trabalho, optou-se por trabalhar apenas com quatro classes de forma de vertente. Utilizou-se, portanto, o valor zero para separar as classes convergente e divergente na análise da curvatura do plano e para separar as classes côncavas e convexas na análise da curvatura do perfil. A combinação das classes de curvatura do plano e curvatura do perfil permitiu obter, então, as formas das vertentes: convexa-divergente; convexa- convergente; côncava-divergente e côncava-convergente. Por fim, as quatro classes de forma de vertente foram cruzadas com as cinco classes de declividade e resultaram em vinte padrões de segmento de vertentes.

## Resultado e discussão

A área edificada do Morro da Polícia é de 2,32 km<sup>2</sup>, o que corresponde a, aproximadamente, 53% da área total do morro que é de 4,37km<sup>2</sup> (Figura 1). Quanto à declividade, um percentual de 13,21% da área de estudo apresenta declividades entre 0 e 15%; 49,37% da área apresenta declividades entre 15 e 30%; 30,51% da área apresenta declividades entre 30 e 45%; 6,63% apresenta declividades entre 45 e 60% e 0,27% da área apresenta declividades acima de 60%. As vertentes foram classificadas ainda quanto à curvatura de plano e perfil. Segmentos convexos-divergentes correspondem a 34,13% da área. Os segmentos convexos- convergentes correspondem a 14,49% da área. Os segmentos côncavos- divergentes correspondem a 22,64% da área. Por fim, os segmentos côncavos- convergentes correspondem a 28,74% da área. O cruzamento de dados de declividade e das formas dos segmentos de vertente classificou os segmentos das vertentes do Morro da Polícia em 20 padrões distintos: I) Convexo-Divergente, 0 – 15%; II) Convexo-Divergente, 15 – 30%; III) Convexo-Divergente, 30 - 45%; IV) Convexo-Divergente, 45 – 60%; V) Convexo-Divergente, > 60%; VI) Convexo-Convergente, 0 – 15%; VII) Convexo- Convergente, 15 – 30%; VIII) Convexo-Convergente, 30 – 45%; IX) Convexo- Convergente, 45 – 60%; X) Convexo-Convergente, >60%; XI) Côncavo-Divergente, 0 – 15%; XII) Côncavo-Divergente, 15 – 30%; XIII) Côncavo-Divergente, 30 – 45%; XIV) Côncavo-Divergente, 45 – 60%; XV) Côncavo-Divergente, >60%; XVI) Côncavo-Convergente, 0 – 15%; XVII) Côncavo-Convergente, 15 – 30%; XVIII) Côncavo-Convergente, 30 – 45%; XIX) Côncavo-Convergente, 45 – 60%; XX) Côncavo-Convergente, >60%. O percentual referente à área em que estes segmentos estão distribuídos ao longo das porções ocupadas do Morro da Polícia é apresentado na Tabela 1. A Figura 2 apresenta a distribuição dos vinte padrões de relevo em que a área de estudo foi segmentada. Na Figura 3 é possível ver em detalhe uma porção da área segmentada. Na área de estudo, destacam-se os segmentos de vertente convexo-divergente com declividades entre 15 e 30%, que correspondem a 17,96% da área total edificada. Estas áreas estão distribuídas ao longo de todo terço inferior do morro. Os segmentos de vertente côncavo-convergentes com declividades entre 15 e 30% também apresentam frequência acima da média, correspondendo a 13,48% da área de estudo. O padrão côncavo-divergente

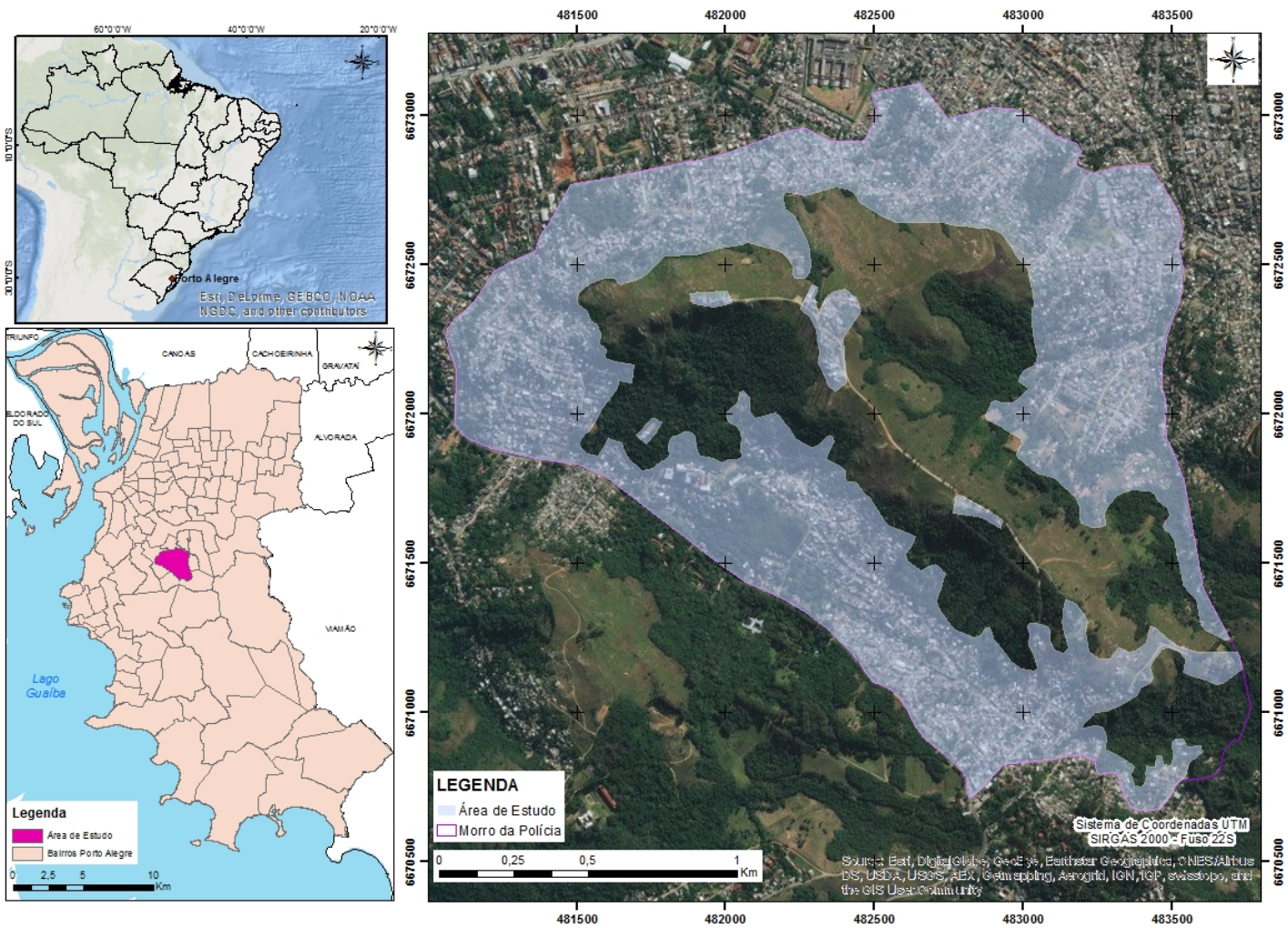
com declividade entre 15 e 30% corresponde a 11,14% da área e é o terceiro padrão com maior frequência. Quanto avaliado sob a ótica dos movimentos de massa, as áreas com menor propensão geomorfológica ao desencadeamento dos processos são as áreas com declividades entre 0 e 15% e com forma convexa-divergente. Este padrão corresponde a 4,16% da área ocupada. Já as áreas geomorfológicamente com maior propensão, ou maior suscetibilidade, a movimentos de massa são as áreas de declividades superiores a 45% e com formas côncavo-convergentes, que somam 2,15% da área de estudo. Cabe destacar que quanto maior a declividade, maior é a instabilidade da área, já que ela representa a componente da força gravitacional que é acentuada com o aumento da inclinação da encosta. Uma vez que os movimentos de massa aqui considerados são de origem gravitacional, a declividade é um dos principais fatores a serem considerados nas avaliações de suscetibilidade. A curvatura do plano está relacionada à convergência e divergência de fluxos pela superfície, e aqueles planos divergentes são mais estáveis que os convergentes, já que a água e a umidade também são importantes estabilizadores e desencadeadores de movimentos de massa. A curvatura de perfil também está relacionada com os fluxos de matéria pela superfície da encosta e nas vertentes côncavas os materiais tendem a fluir com maior aceleração, apresentando assim maior propensão a movimentos de massa sob ação da gravidade. Algumas porções da área de estudo evidenciam a presença de vales, com convergência de fluxos e formação de canais de drenagem. Estes vales são marcados por segmentos de vertente côncavo-convergentes e com declividades de médias a altas. Estas áreas estão associadas a áreas com suscetibilidade a corridas de massa.

Tabela 1

|                 | <b>Convexo -<br/>Divergente</b> | <b>Convexo -<br/>Convergente</b> | <b>Côncavo -<br/>Divergente</b> | <b>Côncavo -<br/>Convergente</b> |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>0 – 15%</b>  | 4,16%                           | 1,90%                            | 2,65%                           | 4,51%                            |
| <b>15 – 30%</b> | 17,96%                          | 6,79%                            | 11,14%                          | 13,48%                           |
| <b>30 – 45%</b> | 10,17%                          | 4,66%                            | 7,10%                           | 8,59%                            |
| <b>45 – 60%</b> | 1,79%                           | 1,10%                            | 1,64%                           | 2,10%                            |
| <b>&gt; 60%</b> | 0,07%                           | 0,04%                            | 0,11%                           | 0,05%                            |

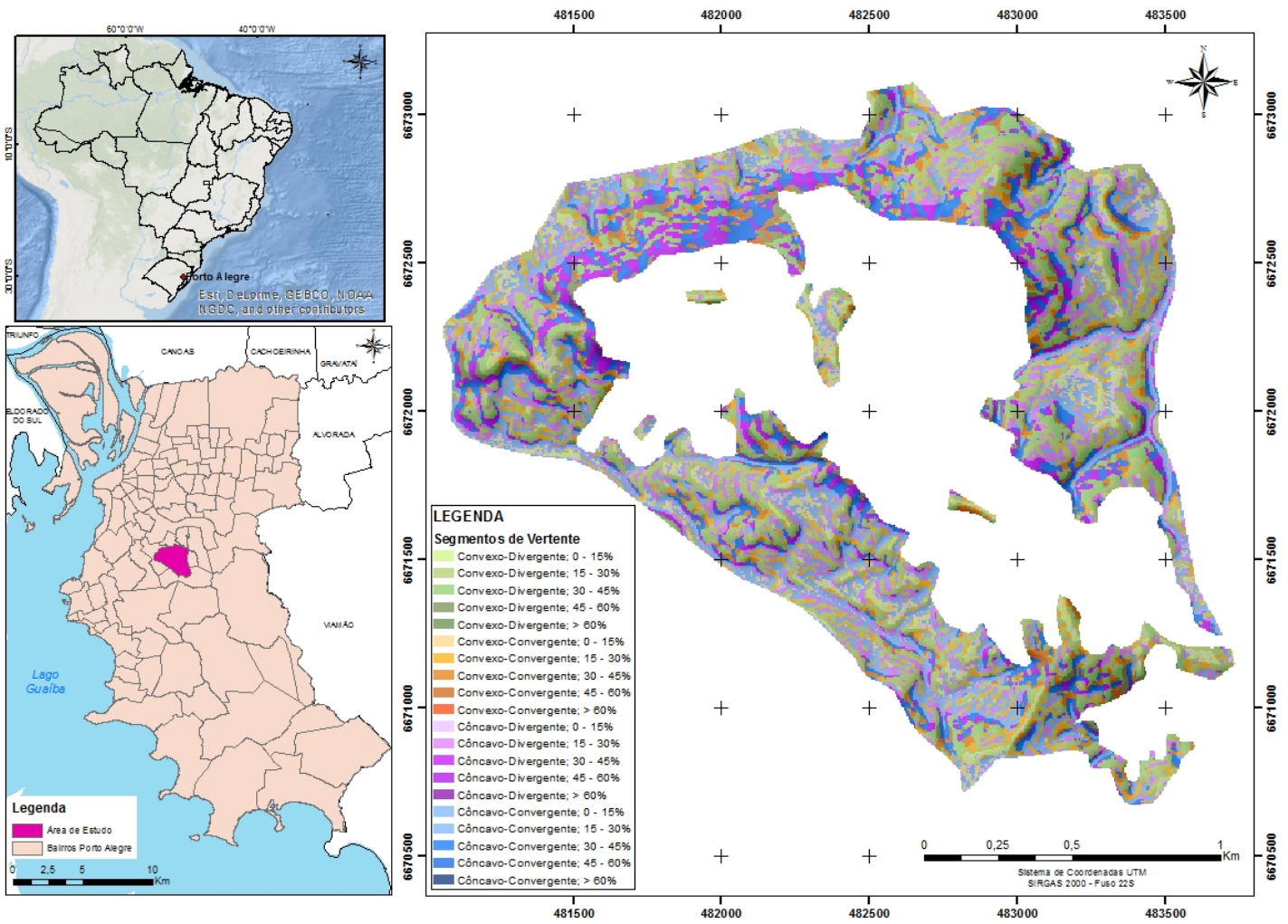
Percentual de área dos segmentos de vertente, em relação à forma da vertente e declividade

Figura 1



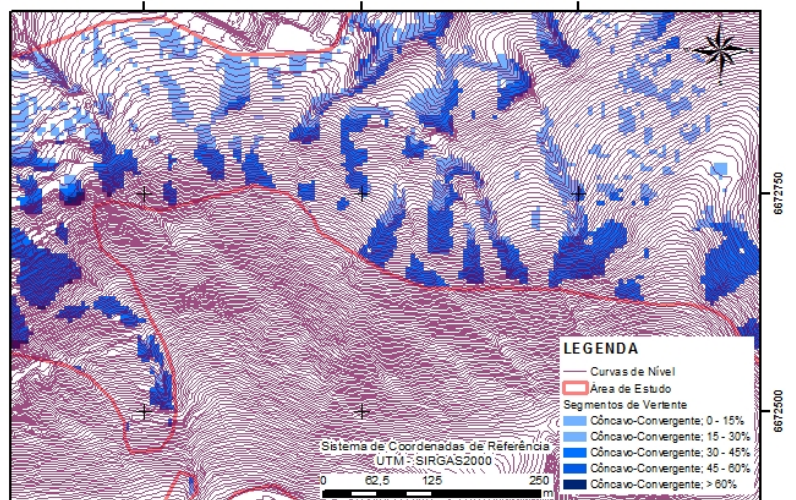
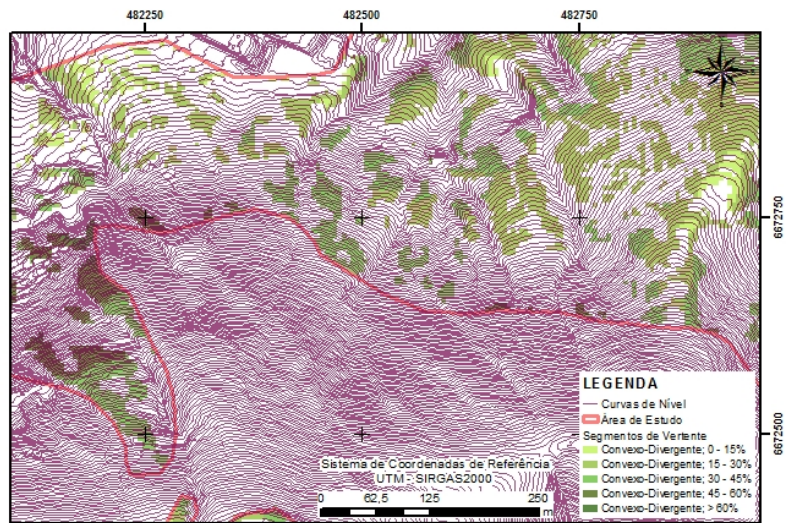
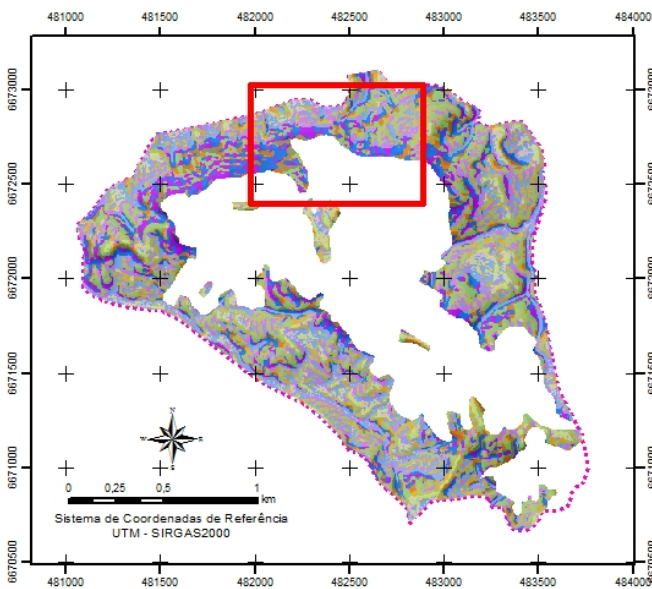
Delimitação do Morro da Polícia e da área edificada

Figura 2



Distribuição dos 20 padrões de segmento de vertente

Figura 3



Detalhe da segmentação das vertentes

## Considerações Finais

Este trabalho teve por objetivo avaliar geomorfologicamente as vertentes do Morro da Polícia, em suas porções ocupadas, de forma automatizada, como subsídio para posteriores trabalhos envolvendo suscetibilidade, perigo e risco a movimentos de massa. Para tanto, optou-se pela utilização dos parâmetros geomorfométricos declividade, curvatura do plano e curvatura do perfil. Estes parâmetros são apontados pela bibliografia especializada como condicionantes naturais de movimentos de massa. Devido à escala de trabalho proposta, com pixel de 5m, a análise do relevo no Morro da Polícia foi realizada em nível de vertente e pode-se estudar os diferentes segmentos que formam as vertentes em sua singularidade. A área de estudo foi dividida em vinte padrões de segmentos de vertente a partir do cruzamento de cinco classes de declividade (0-15%; 15-30%; 30 - 45%; 45 - 60% e >60%) e de quatro classes de forma da vertente (convexo-divergente; convexo-convergente; côncavo-divergente; côncavo-convergente). As ferramentas de geoprocessamento permitiram a classificação do MDE, para obtenção dos parâmetros de declividade e curvatura de plano e perfil, e possibilitaram a integração dos dados. Todos os processos foram realizados de forma automatizada, conforme pretensão inicial.

## Agradecimentos

## Referências

- ANBALAGAN, Rathinam et al. Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, v. 2, n. 1, p. 6, 2015.
- AUGUSTO FILHO, L. M. O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: COBRAE, I. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. v. 2, p. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.D.S.; BRITO, S.N.A.D. (Eds). *Geologia de Engenharia*. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- BIGARELLA, JJ. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis : UFSC, 2003.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES; IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília: Ministério das Cidades; IPT. 176p. 2007.
- BRITO, Mariana M.. *Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS*. 2014. 167p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2014.
- CAMARINHA, P. I. M.; CANAVESI, V.; ALVALÁ, R. C. S.. Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in a coastal region in the state of São Paulo, Brazil. *Natural Hazards And Earth System Science*. V. 14, n. 9, p. 2449 - 2468, 2014.
- CARMO, Alcione Moreira do et al. Avaliação de Suscetibilidade à movimentos de massa, utilizando as variáveis morfométricas, para as serras da porção sul do Maciço Central do Ceará. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 9, 2016.
- CATANI, F. et al. Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. *Landslides*, vol.2, p.329-342, 2005.
- CHALKIAS, C.; FERENTINOU, M.; POLYKRETIS, C. GIS Supported Landslide Susceptibility Modeling at Regional Scale: Na Expert-Based Fuzzy Weighting Method. *ISPRS Int. J Geo-Information*, v. 3, p. 523 – 539, 2014.
- CPRM. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. *Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. 2013.
- CPRM, IPT. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar*. – São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2014.
- CRUDEN, D. M.. A simple definition of a landslide. *Bulletin Of The International Association Of Engineering Geology*. V. 43, n. 1, p. 27 - 29, 1991.
- ESRI. Curvature function. ArcMap 10.3. 2017. Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>> Acesso em: 29 Abr. 2017.
- FELL, Robin et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*. V. 102, n. 3 - 4, p.85 - 98, 2008.



FLORENZANO, Teresa G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, Teresa G. (org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 11 – 30, 2008.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-03-6. 2010. Disponível em <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 15 Fev. de 2017.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P., The landslide handbook - A guide to understanding landslides. USGS Geologic Hazards. Circular 1325, 129 p., 2008.

KANNAN, M; SARANATHAN. E.; ANABALAGAN, R. Landslide vulnerability mapping using frequency ratio model: a geospatial approach in Bodi-Bodimettu Ghat section, Theni district, Tamil Nadu, India. Arabian Journal of Geoscience, v.6, p. 2901-2913, 2013.

KANUNGO et al. Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping – A Review. Journal of South Asia Disaster Studies. V. 2, n. 01, p. 91 – 195, 2009.

MENEGAT, Rualdo; HASENACK, Heinrich; CARRARO, Clovis C. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. In: MENEGAT, R. et al (coords). Atlas Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora Universidade / UFRGS, 3 ed. rev. 256p. 2006.

MUÑOZ, V. A. Análise Geomorfométrica de Dados SRTM Aplicada ao Estudo das Relações Solo-Relevo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 112p. 2009.

RECKZIEGEL, E.W.. Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS. 2012. 88 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia. UFRGS, Porto Alegre, 2012.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio; BRESSANI, Luiz Antonio. Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma Revisão de Literatura. Boletim Goiano de Geografia, v. 36, n. 2, 2016.

SMAM. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Levantamento Diagnóstico das Áreas de Risco Geotécnico no Município de Porto Alegre/RS. Relatório do Grupo de Trabalho. 1991.

TOMINAGA, Lídia K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L.K., SANTORO, J., AMARAL, R. Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo – Instituto Geológico. 196p. 2009.

VAN WESTEN, C.J.; CASTELLANOS, Enrique; KURIAKOSE, Sekhar L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An Overview. Engineering Geology. V. 102, n. 3 - 4, p.112 - 131, 2008.

XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira.

Contato: [sinageo2018@sinageo.org.br](mailto:sinageo2018@sinageo.org.br)