



COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA POR GEOMORPHONS DO MORRO DA POLÍCIA, PORTO ALEGRE, COMO SUBSÍDIO PARA A ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE AO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE DINÂMICA SUPERFICIAL

DÉBORA LAMBERTY¹
ROMARIO TRENTIN²
LUÍS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA³

Resumo: O relevo é um importante fator na análise de suscetibilidade a processos de dinâmica superficial de uma área. Neste trabalho, um método de classificação e mapeamento de formas de terreno a partir do MDE, baseado no princípio de reconhecimento de padrões topográficos correspondentes a formas específicas de relevo foi aplicado no Morro da Polícia, Porto Alegre. Entre os dez *geomorphons* nos quais a área de estudo foi compartimentada, encosta, crista secundária e crista são as formas de relevo que representam mais de 60% do modelado do relevo. Elas estão associadas aos processos de deslizamento e queda de blocos. Vales e escavados correspondem a mais de 22% e estão associados aos processos de enxurrada e corrida de massa. A compartimentação da área de estudo a partir da metodologia dos *geomorphons* mostrou-se eficiente para a obtenção das formas de relevo que compõem as vertentes do Morro da Polícia.

Palavras-chave: *Geomorphons*; Processos Superficiais; Morro da Polícia.

Abstract: Relief is an important factor in the landslide susceptibility assessment of an area. In this paper, a method of classification and mapping of terrain forms from a DEM, based on the principle of recognition of topographic patterns corresponding to specific terrain forms was applied to the hill known as “Morro da Polícia” located at Porto Alegre, Brazil. Among the ten *geomorphons* in which the area was compartmentalized, slope, spur and ridge are the relief forms that represent more than 60% of the relief modeling. They are associated to soil landslide and fall of rocks. Valleys and hollow correspond to more than 22% of the area and they are associated to the process of flash flood and debris flow. The classification of the study area using the *geomorphons* methodology proved to be efficient for obtaining the relief forms that make up the hillsides of the “Morro da Polícia”.

Keywords: *Geomorphons*; Superficial processes; Morro da Polícia.

1 – Introdução

Os processos de dinâmica superficial são o produto da interação de diversos fatores físicos, químicos, biológicos e antrópicos. Estes processos são responsáveis por modificar o modelado da superfície do terreno e resultam na evolução das paisagens. Os processos mais comuns são o intemperismo, a erosão, os movimentos gravitacionais de massa e as inundações, e são resultado da ação de

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria. Pesquisador em Geociências da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM – SUREG/PA. E-mail de contato: debora.lamberty@cprm.gov.br

² Docente do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria. E-mail de contato: romario.trentin@gmail.com

³ Docente do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria. E-mail de contato: lesrobaina@yahoo.com.br



forças que atuam na superfície da Terra especialmente a gravidade, as marés e a radiação solar. Os fatores condicionantes dos processos superficiais são, majoritariamente, o clima (variação de temperatura, precipitação, ventos), a cobertura vegetal, o substrato rochoso (litologia, discontinuidades), os solos e o relevo. (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998, p.131).

Áreas propensas ao desenvolvimento de processos de erosão e movimentos gravitacionais de massa, quando ocupadas, dão origem a áreas de risco geológico, uma vez que o desenvolvimento de um processo, de causa natural ou antrópica, pode causar algum dano à população que ocupa esta área. Compreender as características do terreno e prever quais os processos que podem ocorrer nesta área, bem como quais riscos estes processos representam à população residente nesta área é o desafio de uma gama de profissionais, com destaque para os geocientistas.

Como supracitado, o relevo é um importante fator que controla a ocorrência de processos superficiais, especialmente erosão e movimentos de massa (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998, p.131; FERNANDES; AMARAL, 2006, p. 157). Sendo assim, a caracterização geomorfológica e geomorfométrica da área de estudo é fundamental para embasar trabalhos de suscetibilidade à erosão e ao desenvolvimento de movimentos de massa. Altitude, declividade, orientação, amplitude e comprimento da vertente e a forma em plano e perfil são algumas das características do relevo que merecem destaque e estão integradas em caracterizações geomorfológicas das vertentes (VALERIANO, 2008, p.73).

Com o advento das geotecnologias, especialmente pautado no sensoriamento remoto e nos sistemas de informação geográfica, a obtenção de parâmetros geomorfométricos e geomorfológicos foi automatizada e simplificada (FLORENZADO, 2008, p.24). Dados de entrada como modelos digitais de elevação, curvas de nível e pontos cotados, permitem a obtenção de dados morfométricos tais como declividade, orientação das vertentes, comprimento de rampa, plano e perfil de curvatura, área de captação, acúmulos de fluxo que, uma vez integrados, fornecem informações relevantes para o estudo do relevo (VALERIANO, 2008, p. 86).



Muñoz (2009) enfatiza que, a partir dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), 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.

Jasiewicz e Stepinski (2013) propõem um método para classificação e mapeamento de formas de terreno a partir de um modelo digital de elevação, baseado no princípio de reconhecimento de padrões topográficos correspondentes a formas específicas de relevo. Os métodos existentes pautados na geometria diferencial que classifica o relevo com base em variáveis geomorfométricas se afastam desta nova abordagem cujo objetivo é imitar o processo de classificação realizado pelo analista humano, por exemplo, ao identificar formas de relevo utilizando um relevo sombreado ou mesmo curvas de nível.

Os padrões de relevo identificados são denominados de *geomorphons*, que corresponderiam às micro-estruturas fundamentais do relevo. *Geomorphons*, no mesmo tempo que representam um atributo do terreno, representam formas do terreno. É possível identificar 498 diferentes *geomorphons* os quais são reagrupados, de acordo com a metodologia proposta, em 10 formas de relevo, a saber: *flat* (plano), *peak* (pico), *ridge* (crista), *shoulder* (ressalto), *spur* (crista secundária), *slope* (encosta), *hollow* (escavado), *footslope* (base de encosta), *valley* (vale) e *pit* (fosso).

O objetivo do presente estudo é a compartimentação geomorfológica do Morro da Polícia, região central de Porto Alegre, RS, em *geomorphons* como subsídio para análise de suscetibilidade ao desenvolvimento de processos de dinâmica superficial.

2 – Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é o Morro da Polícia localizado na porção central do município de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul (figura 1). O Morro da Polícia engloba os bairros Cascata, Glória e Coronel Aparício Borges. Apresenta uma ocupação urbana densa na base e terço inferior das encostas e



ENANPEGE

GEOGRAFIA, CIÊNCIA E POLÍTICA:

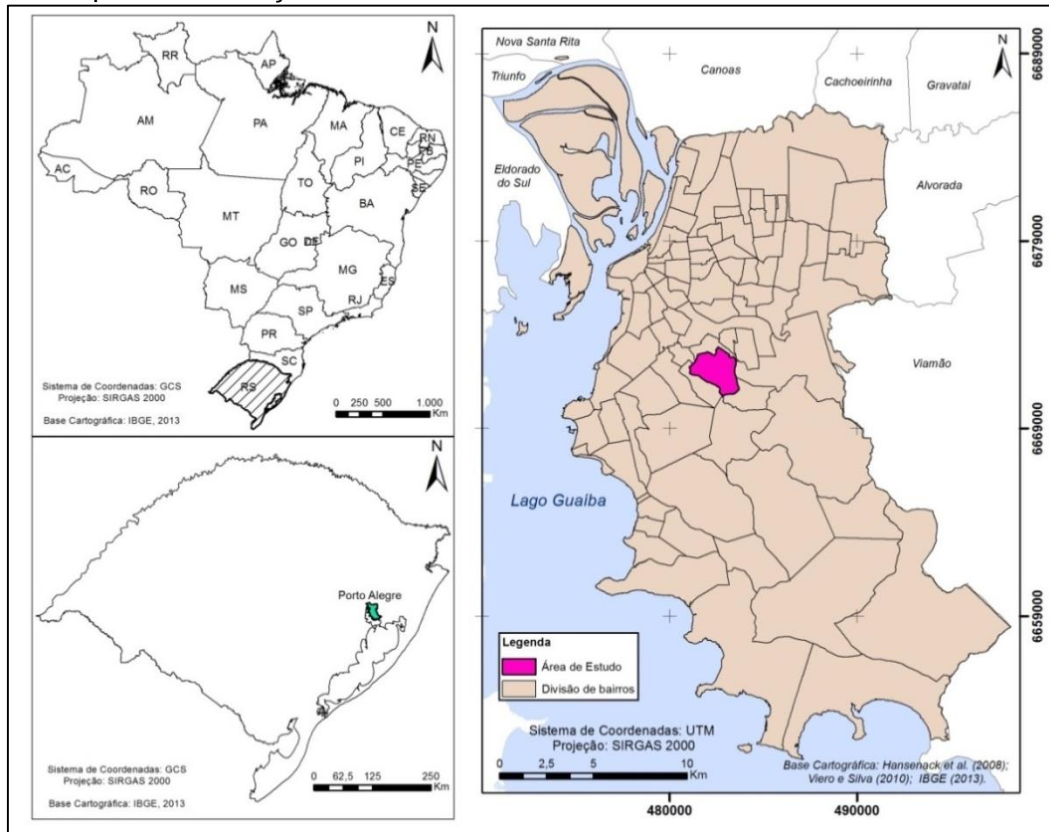
do pensamento à ação, da ação ao pensamento

De 12 a 15 de Outubro de 2017

Porto Alegre

ocupação esparsa no topo do morro. Os primeiros estudos de área de risco nesta área datam de 1991, quando um levantamento do município apontou 46 áreas de alto risco geotécnico e risco geotécnico não imediato no Morro da Polícia (SMAM, 1991).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Organizado pelos autores.

Um trabalho mais recente executado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM no âmbito do projeto “Ação emergencial para reconhecimento de áreas de risco alto e muito alto a movimentos de massa, inundações e enchentes” apontou que na área de estudo há 22 setores de risco alto e muito alto às diversas tipologias, como deslizamentos, queda de blocos de rocha, corridas de massa, inundação, enxurrada e solapamento de margens por erosão fluvial. Estimou-se que 6.920 pessoas estariam em risco na área de estudo (CPRM, 2013).

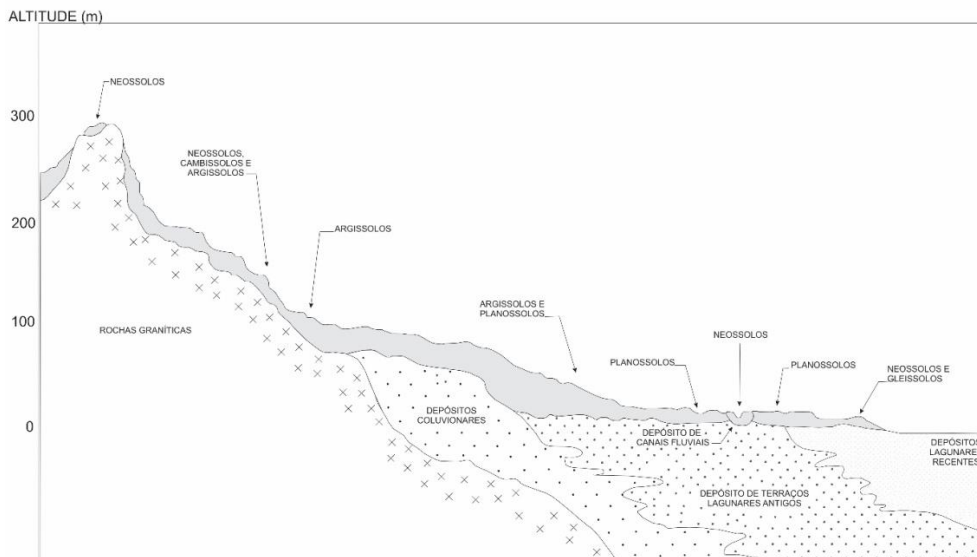
O Morro da Polícia é um morro de substrato granítico que faz parte do que se conhece por Crista de Porto Alegre (MENEGAT; HASENACK, 2006, p.29), uma unidade geomorfológica caracterizada por morros graníticos reunidos em forma de



crista com 22 km de extensão por 2 a 7 km de largura, que se destaca na topografia do município quando comparados às planícies fluvio-lagunares das demais porções. O substrato rochoso é composto pelo Granito Santana, de idade neoproterozoica, pertencente ao Batólito Pelotas (MENEGAT; HASENACK, 2006, p.29; PHILIPP; CAMPOS, 2004; PHILIPP, 2008).

Os solos descritos no Morro da Polícia são associação de Cambissolos háplicos, Neossolos litólicos e Neossolos regolíticos que correspondem aos solos formados em áreas de maior declividade, localizados no topo e porções superiores de encostas e associações de Argissolos vermelhos ou Argissolos vermelhos-amarelos localizados nas porções mais centro - basais das encostas do Morro da Polícia (Schneider et al., 2008). A distribuição dos solos ao longo dos morros graníticos de Porto Alegre hipoteticamente está representada no modelo de Valente (1999) apresentado na figura 2. Neste perfil de topossequência hipotético, as unidades de Neossolos, Cambissolos e Argissolos corresponderiam à sequência de solos encontrados também na área de estudo.

Figura 2. Perfil de topossequência hipotética para o município de Porto Alegre.



Modificado de Valente (1999, p.66).

Quanto à espessura de solos, Santos (2014) destaca que no Morro da Polícia é encontrada uma das mais baixas espessuras de solo sobre o Granito Santana, ficando entre 0 a 2,5 m de espessura, comportamento este esperado devido à



remoção do material intemperizado e a exposição da rocha-fonte em áreas de cotas mais elevadas.

3 – Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos para a elaboração deste trabalho englobaram a obtenção da base altimétrica da área de estudo, a geração do modelo digital de elevação, a classificação do modelo digital de elevação em *geomorphons* e a análise das formas de relevo com ênfase na suscetibilidade ao desenvolvimento de processos superficiais a partir do cruzamento com os dados de CPRM (2013). Cada uma das etapas do trabalho são explorados nas seções subsequentes.

3.1 - Obtenção dos Produtos Cartográficos Básicos

A base cartográfica da área de estudo foi obtida a partir de um recorte da base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre – RS, obtida em Hasenack, Weber e Lucatelli (2010). Esta base forneceu curvas de nível e pontos cotados em escala 1:1.000. A base foi projetada no sistema de coordenadas UTM, no sistema de referência cartográfica WGS1984, fuso 22, em ambiente SIG.

O modelo digital de elevação – MDE é a base da classificação por *geomorphons* e foi obtido por meio do algoritmo da ferramenta “topo to raster” disponível no software Esri ArcGIS 10.2 (figura 3). Modelou-se para um pixel de 5 metros, visto que o aplicativo de classificação por *geomorphons* suporta MDEs de até 1.500.000 pixels e um tamanho de arquivo de 100MB.

Figura 3. Modelo digital do terreno de 5m de resolução espacial



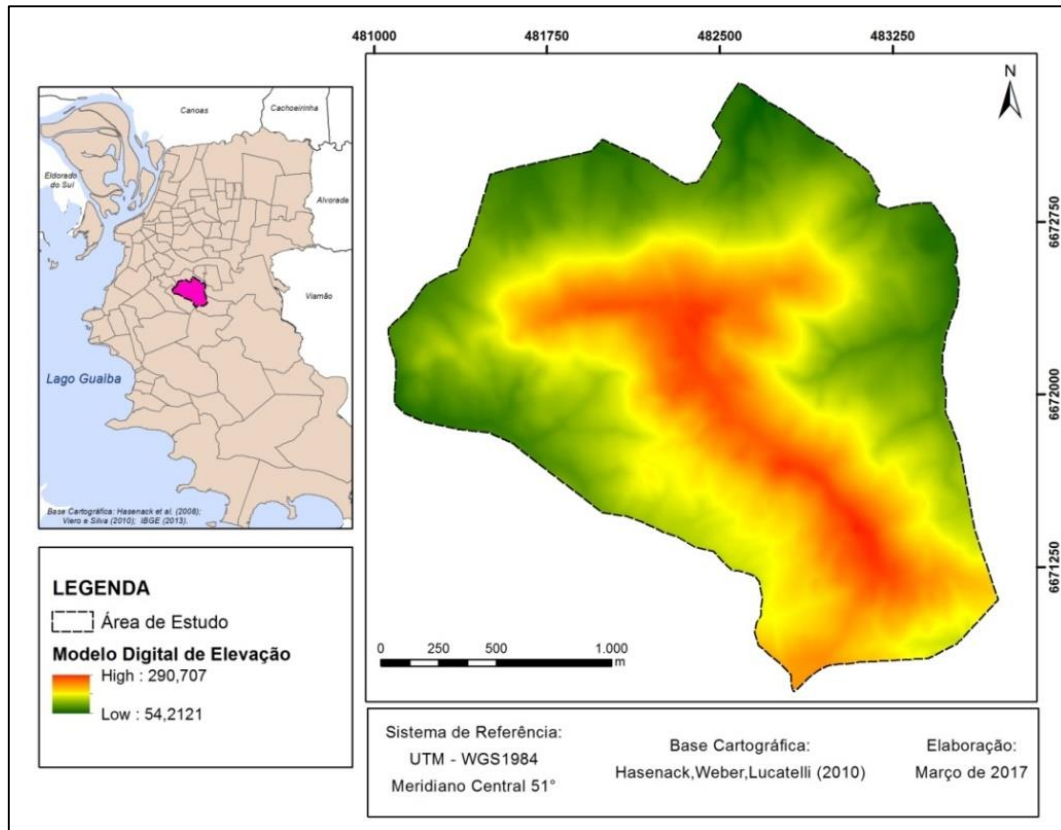
ENANPEGE

GEOGRAFIA, CIÊNCIA E POLÍTICA:

do pensamento à ação, da ação ao pensamento

De 12 a 15 de Outubro de 2017

Porto Alegre



Elaborado pelos autores.

3.3 – Classificação do relevo em *geomorphons*

A definição dos *geomorphons* seguiu a metodologia proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013) que analisa a similaridade textural do MDE considerando a variação de níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas, atribuindo valores de 1, 0 e -1, para maior, igual e menor, respectivamente. Estes valores são transferidos ainda para valores de elevação do terreno.

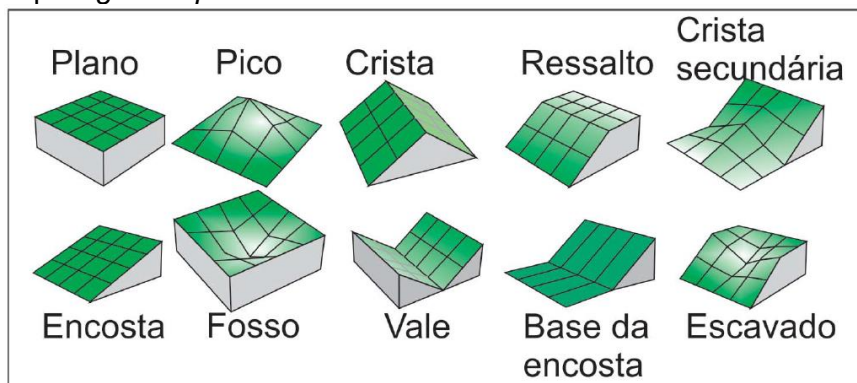
A classificação do relevo em *geomorphons* é realizada em ambiente online no aplicativo disponível no endereço <http://sil.uc.edu/geom/app>. Para a classificação se utilizou o MDE de 5m gerado para a área de estudo conforme procedimentos já mencionados e os parâmetros livres de entrada Search Radius (distância em pixel) e Flatness (nivelamento em graus) foram ajustados para 50 pixels e 2°, respectivamente.

O raster de saída armazena o mapa geomorfométrico final, ou seja, o mapa dos 10 elementos de relevo mais comum na área que são também os 10



geomorphons reconhecidos na análise do relevo. São eles: flat (plano), peak (pico), ridge (crista), shoulder (ressalto), spur (crista secundária), slope (encosta), hollow (escavado), footslope (base de encosta), valley (vale) e pit (fosso). Uma representação gráfica de cada uma das formas de relevo identificadas pelo aplicativo é apresentada na figura 4.

Figura 4. Principais *geomorphons* reconhecidos na análise do relevo.



Extraído de Robaina, Trentin e Laurent (2016).

3.4 – Análise das formas do relevo obtidas por *geomorphons*

A análise das formas do relevo foi realizada em ambiente SIG tendo como foco a percepção desta compartimentação como subsídio para identificação de áreas suscetíveis a processos superficiais. Para uma primeira validação do modelo gerado, a classificação foi cruzada com o produto da setorização de risco produzida por CPRM (2013). Os resultados são apresentados na seção 4.

4 – Resultados

O produto final classificado em 10 formas de relevo é apresentado na figura 6. Este produto foi subposto aos setores de risco definidos por CPRM (2013) para a área de estudo. A definição destes setores é dada de maneira heurística e engloba, além de vistorias de campo, análise de imagens de satélite. Para melhor visualização das informações, o relevo sombreado da área foi adicionado ao mapa das formas de relevo.

Figura 6. Mapa das formas de relevo obtidos para o Morro da Polícia com a sobreposição dos setores de risco de CPRM (2013)



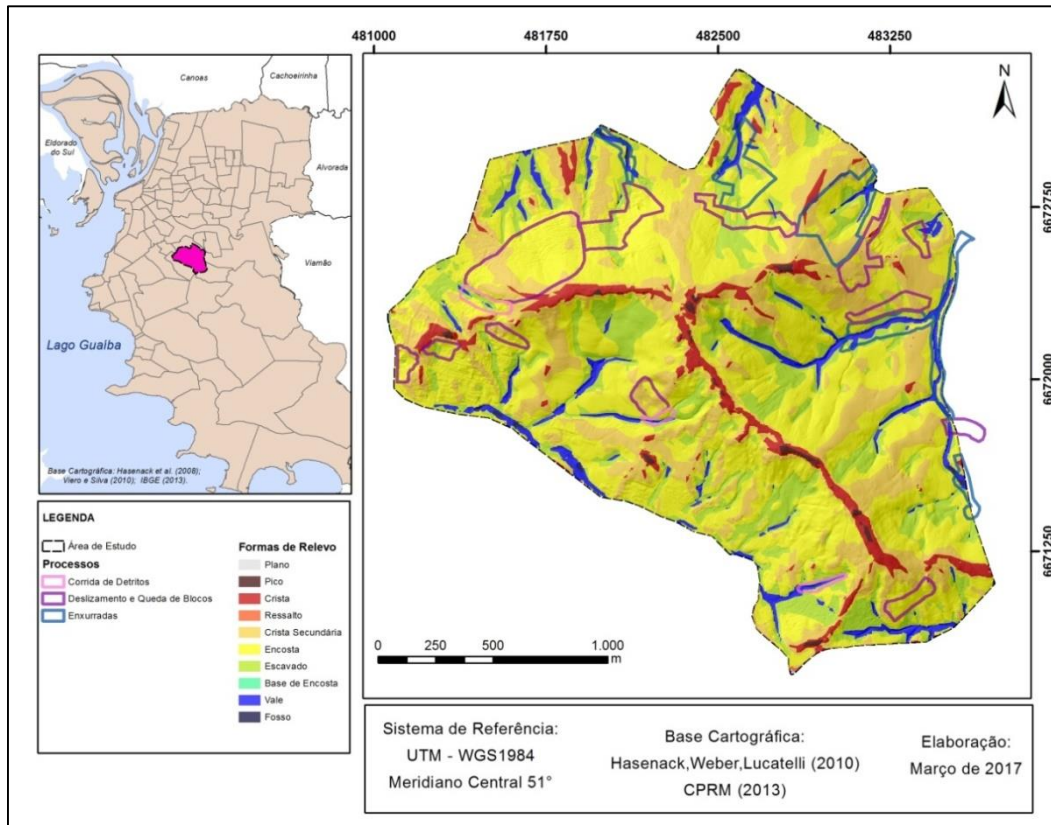
ENANPEGE

GEOGRAFIA, CIÊNCIA E POLÍTICA:

do pensamento à ação, da ação ao pensamento

De 12 a 15 de Outubro de 2017

Porto Alegre



Elaborado pelos autores.

Com este conjunto de informações foi possível verificar que houve uma boa qualidade na compartimentação das vertentes do Morro da Polícia. Este produto pode ser refinado a partir de fotointerpretação e com o auxílio de outros dados geomorfológicos como declividade, formas das vertentes e levantamentos de campo e assim compor um mapa de formas de relevo mais preciso para esta área de estudo a fim de subsidiar análise de suscetibilidade ao desenvolvimento de processos superficiais como movimentos gravitacionais de massa e hidrológicos como enxurradas e inundações. Esta análise é fundamental para obtenção de cartografia de risco geológico.

Quando o mapa de *geomorphons* e os polígonos de setores de risco alto e muito alto a movimentos de massa e inundações elaborados pela CPRM (2013) são cruzados, obtêm-se nove setores de risco a processos hidrológicos (enxurrada, inundação, solapamento de margem por erosão fluvial) e geológicos (corrida de massa) vinculados às formas vale (*valley*) e escavado (*hollow*), majoritariamente, e



onze setores de risco a deslizamentos e quedas de blocos de rocha associados às formas encosta (*slope*) e crista secundária (*spur*).

Cabe considerar que pela metodologia deste mapeamento e setorização são consideradas apenas as áreas com ocupação e cuja população apresente vulnerabilidade frente ao processo instalado. Isto não elimina a suscetibilidade natural ao desenvolvimento dos processos de áreas com iguais características geomorfológicas.

Por fim, a tabela 1 sintetiza os processos superficiais associados a cada forma de relevo e o percentual de área de cada forma em relação à área total de estudo.

Tabela 1. Resumo das formas de relevo em área, percentual de área total da área de estudo e processos superficiais associados

Forma do Relevo	Área	% Área Total	Processos Superficiais Associados
Encosta (<i>slope</i>)	1,87 km ²	46,76	Deslizamentos / Queda de blocos
Crista Secundária (<i>spur</i>)	1,01 km ²	25,3	Deslizamentos / Queda de blocos
Escavado (<i>hollow</i>)	0,71 km ²	17,64	Erosão / Enxurrada / Inundação
Crista (<i>ridge</i>)	0,20 km ²	4,95	Deslizamento / Queda de blocos
Vale (<i>valley</i>)	0,19 km ²	4,71	Enxurrada/ Corrida de massa
Pico (<i>peak</i>)	0,02 km ²	0,44	Deslizamento / Queda de blocos
Pit (<i>fosso</i>)	6.704 m ²	0,16	Enxurrada/ Corrida de massa
Ressalto (<i>shoulder</i>)	462 m ²	0,011	Deslizamento / Queda de blocos
Base de encosta (<i>footslope</i>)	225 m ²	0,005	Deslizamento
Plano (<i>flat</i>)	50 m ²	0,001	Inundação

Organizado pelos autores.

5 – Considerações Finais

A compartimentação da área de estudo a partir da metodologia dos *geomorphons* mostrou-se eficiente para a obtenção das formas de relevo que compõem as vertentes do Morro da Polícia. Esta metodologia pode ser aplicada a outros trabalhos geomorfológicos cujo objetivo seja a análise da paisagem.

Trabalhos futuros explorarão de maneira mais concisa como as unidades de relevo estão relacionadas às áreas com maior suscetibilidade a processos



superficiais e como elas condicionam o desenvolvimento destes processos. A integração das informações geradas nesta primeira etapa do trabalho com outras informações geomorfométricas será utilizada como subsídio para análise de áreas de risco no Morro da Polícia em Porto Alegre.

6 – Referências

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.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org). **Geomorfologia e Meio Ambiente.** 6ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123 – 194. 2006.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 31 – 71. 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 Fevereiro de 2017>

INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 131-152. 1998.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of lanforms. **Geomorphology**, n. 182, p. 147-156. 2013.

MENEGAT, R.; HASENACK, H.; CARRARO, C. C. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. In: MENEGAT et al (coord). **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.

PHILIPP, R. P. Geologia. In: HASENACK, H. (coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84p. 2008.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S.. Geologia. Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. **Revista Pesquisas em Geociências**, n. 31, vol. 2, p.79 – 94. 2004.



ENANPEGE

GEOGRAFIA, CIENCIA E POLITICA:

do pensamento à ação, da ação ao pensamento

De 12 a 15 de Outubro de 2017

Porto Alegre

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F.. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de Geomorphons obtidos em Classificação Topográfica Automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 287 – 298. 2016.

SANTOS, A. C. O. dos. **Avaliação da Espessura do Manto de Intemperismo sobre o Granito Santana (Porto Alegre, RS) por Gamaespectrometria**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 145p. 2014.

SCHNEIDER et al. Solos. In: HASENACK, H. (coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84p. 2008.

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.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Minerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 373p. 1999.

VALERIANO, M. de M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 72-104, 2008.