

Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/1, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos: 1853-1872
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DOS FATORES CONDICIONANTES DE MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE A PARTIR DE REGISTROS HISTÓRICOS

Analysis of Landslide Conditioning Factors in Porto Alegre Municipality based on Historical Data

**Mariana Madruga de Brito¹, Eliseu José Weber², Vania Silva Krigger³
& Felipe Padilha Leitzke¹**

¹Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn – UNI BONN
Faculty of Natural Sciences and Mathematics
Meckenheimer Allee, 172, 53115, Bonn, Alemanha
mmdb@outlook.com; felipepl@uni-bonn.de

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia
Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43411/203, CEP 91509-900, Porto Alegre, Brasil
eweber@portoweb.com.br

³Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAM
Programa de Áreas de Risco
Avenida Carlos Gomes, 2120, CEP 90480-002, Porto Alegre, Brasil
vaniask@smam.prefpoa.com.br

Recebido em 12 de Outubro, 2015/ Aceito em 23 de Março, 2016
Received on October 12, 2015/ Accepted on March 23, 2016

RESUMO

O município de Porto Alegre é altamente suscetível a movimentos de massa, os quais ocasionam perdas econômicas, sociais e ambientais. Com o intuito de mitigar esses impactos e compreender melhor esses processos torna-se necessário mapear as áreas afetadas pelos mesmos, uma vez que movimentos de massa recentes podem sugerir futuros padrões de instabilidade. Nesse sentido, este estudo teve por objetivo elaborar um inventário de movimentos de massa e analisar os fatores que contribuem para a sua ocorrência no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Para tanto, foram consultados relatórios de vistoria do Programa de Áreas de Risco (PAR) de Porto Alegre, de 2007 a 2013. Posteriormente, analisou-se a distribuição espacial e temporal desses registros, bem como a sua relação com os principais fatores condicionantes, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Ao total, foram registradas 132 ocorrências de movimentos de massa, das quais 114 correspondem a escorregamentos e 18 a quedas de blocos. Além disso, mapearam-se 84 locais com predisposição à ocorrência de escorregamentos e 31 à quedas de blocos. No caso dos escorregamentos, os fatores condicionantes mais relevantes na área de estudo foram declividade, geologia e distância de lineamentos. Além disso, a ação antrópica foi o principal agente deflagrador. O inventário elaborado permite indicar os locais onde é necessário realizar mapeamentos detalhados, como por exemplo, análises de suscetibilidade e risco, constituindo num subsídio importante para tomadores de decisão.

Palavras chave: Inventário de Movimentos de Massa, Escorregamentos, Queda de Blocos, Dados Históricos.

ABSTRACT

Porto Alegre municipality is highly susceptible to mass movements, which cause economic, social and environmental losses. In order to mitigate these impacts and better understand these processes, it is necessary to map the areas affected by them, since recent mass movements may indicate future patterns of instability. In this sense, this study aimed to analyze the factors that contribute to mass movements occurrence by preparing an inventory map of these events in Porto Alegre municipality, Rio Grande do Sul. For this, survey reports elaborated by the Porto Alegre Risk Areas Program (PAR) between 2007 and 2013 were consulted. Subsequently, we analyzed the spatial and temporal distribution of these records, as well as their relationship with the main conditioning factors, through geoprocessing techniques. In total, 132 occurrences were mapped, of which 114 correspond to landslides and 18 to rock falls. In addition, 84 sites with predisposition to landslide occurrence and 31 to rock falls were mapped. For landslides, the most significant conditioning factors were slope, geology and distance to lineaments. Moreover, anthropic activity was the main triggering factor. The inventory elaborated allows indicating places where detailed mappings, such as susceptibility and risk analysis, are required, constituting an important tool for decision makers.

Keywords: Landslides Inventory, Landslides, Rock Fall, Historical Data.

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa, isoladamente ou em associação com outros fenômenos, são os desastres que mais causam danos humanos e materiais no mundo, sendo que seus impactos são superiores ao de qualquer outro desastre natural, incluindo terremotos, inundações e tempestades (WP-WLI, 1993). No Brasil, esses processos ocasionaram pelo menos 2.868 mortes (IPT, 2014) e deixaram cerca de 5,87 milhões de pessoas desalojadas, desabrigadas ou feridas entre 1991 e 2012 (UFSC & CEPED, 2013).

Para mitigar esses impactos e melhor compreender a ocorrência desses fenômenos, torna-se necessário identificar os fatores que interferem na sua deflagração. Dentro desta perspectiva, assume grande importância a espacialização dos processos já ocorridos em uma determinada área, a partir da elaboração de mapas inventário. Eles contêm a localização desses eventos, data de ocorrência, classificação, e podem incluir informações mais detalhadas, como volume deslocado, distância de movimentação e estado de atividade (FELL *et al.*, 2008).

Os inventários são fundamentais na previsão de novos eventos, uma vez que as condições de terreno em que movimentos de massa ocorreram no passado podem ser indicativas de futuros padrões de instabilidade (MANTOVANI *et al.* 1996). Eles permitem compreender melhor os mecanismos de ruptura dos taludes e frequência de ocorrência, auxiliando na sua prevenção (GUZZETTI *et al.*, 2012).

Nesse sentido, destaca-se que os inventários são o primeiro passo para a avaliação da suscetibilidade, perigo e risco (GUZZETTI *et al.*, 2006; VAN WESTEN *et al.*, 2008; BĂLTEANU *et al.*, 2010), bem como a principal ferramenta utilizada na sua calibração e validação (PARISE, 2001).

Diversas técnicas têm sido propostas para elaborar inventários de movimentos de massa (GUZZETTI, 2006; BAUZYS, 2012). A seleção da abordagem a ser empregada depende da disponibilidade de recursos, qualidade dos dados existentes, além da escala de mapeamento, experiência do analista e resultados esperados (VAN WESTEN *et al.*, 2008; GUZZETTI *et al.*, 2012). De maneira geral, são utilizadas informações coletadas no campo (e.g. BRUNSDEN, 1985), registros históricos de desastres (e.g. PEREIRA *et al.*, 2014; WIGGERS & ROBAINA, 2014; RASKA *et al.*, 2015), bem como informações obtidas com o auxílio da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite (e.g. MANTOVANI *et al.*, 1996; BRITO, 2015).

Devido à sua importância para a definição de prioridades e tomada de decisão (GUZZETTI *et al.*, 2000), mapas inventários têm sido elaborados de maneira extensiva em outros países (e.g. TRIGILA *et al.*, 2010; STUMPF & KERLE, 2011; XU, 2015). No entanto, a realização desse tipo de estudo ainda é pouco frequente no Brasil. Como exemplo de estudos realizados em território nacional citam-se os trabalhos de Marcelino (2003), Lopes *et al.* (2007), Marcelino *et al.* (2009), Bauzys

(2012), Pinho *et al.* (2013) e Brito (2015). Esses estudos utilizaram imagens de satélite de alta e média resolução espacial, as quais são adequadas para a identificação de cicatrizes em áreas não urbanizadas, onde predomina a ocorrência de cobertura vegetal. No entanto, em locais densamente ocupados, o mapeamento de movimentos de massa com base em dados de sensoriamento remoto, se torna impraticável, sendo necessária a utilização de informações adicionais, como registros históricos e visitas de campo.

Nesse sentido, Reckziegel (2007), realizou um estudo pioneiro com a espacialização a nível municipal dos movimentos de massa no Estado do Rio Grande do Sul, a partir de dados do Diário Oficial, decretos de estado de calamidade pública e de situação de emergência, e pesquisas na imprensa. Destaca-se também o estudo de Robaina *et al.* (2010), que elaborou um inventário para a área urbana de Caxias do Sul, com base no levantamento histórico de ocorrências. Mais recentemente, Riffel e Guasselli (2015) mapearam as cicatrizes de movimentos de massa no município de Três Coroas a partir de expedições de campo.

Partindo deste contexto, este estudo teve por objetivo elaborar um inventário de movimentos de massa a partir de registros históricos e analisar os fatores que contribuem para a sua ocorrência no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A opção por Porto Alegre deve-se à sua elevada propensão a movimentos de massa, sendo o município com o maior número de registros desses desastres no Estado do Rio Grande do Sul (RECKZIEGEL, 2007).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Porto Alegre possui uma área de 476,3 km² e localiza-se na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O clima da região corresponde ao tipo Cfa da classificação climática de Köppen, denominado subtropical úmido com verão quente. A precipitação pluvial média anual é de 1.320 mm, com extremos de 1.984 mm em 1972 e 1.052 mm em 1988 (INMET, 2009).

O relevo é composto por um conjunto de cristas, morros e coxilhas, sendo que a feição geomorfológica mais marcante é a Crista de Porto Alegre (MENEGAT *et al.*, 2006). Essa crista divide o município em duas zonas: NW, fortemente urbanizada, e SE, com a zona rural e núcleos urbanos menos densos. A declividade varia de 0% até 745%, com valores predominantes inferiores a 15%.

Devido às características físicas do território e à ocupação desordenada das vertentes, Porto Alegre é altamente suscetível a movimentos de massa, principalmente a processos do tipo escorregamentos e quedas de blocos (FUJIMOTO, 2002; BRITO & WEBER, 2013; RECKZIEGEL, 2012; 2013). Nesse sentido, destaca-se que seis pessoas morreram e doze ficaram feridas em decorrência destes processos entre 1980 e 2005 (RECKZIEGEL, 2007). Em virtude da frequência desses processos, o município de Porto Alegre é considerado prioritário pelo Governo Federal nas ações de prevenção de desastres naturais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2013).

2.1 Contexto geológico-geotécnico

A área de estudo está inserida no leste do Escudo Sul-Rio-Grandense. A geologia é constituída por gnaisses paleoproterozoicos, rochas graníticas neoproterozoicas, e diques de composição ácida (riolitos e dacitos) e básica (diabásios). Recobrimo essas unidades, ocorrem depósitos sedimentares da Planície Costeira, representados por depósitos aluviais, eluviais, terraços e cordões arenosos (PHILIPP & CAMPOS, 2004).

Os corpos graníticos são alongados na direção NE-SW, concordantes com as principais estruturas tectônicas regionais (PHILLIP, 2008). Estas unidades encontram-se fortemente intemperizadas, sobretudo ao longo de descontinuidades, tais como fraturas tectônicas e de alívio, diaclases e foliações ígneas ou tectônicas. Tal característica propicia a ocorrência de quedas de blocos, principalmente nas regiões de borda, onde a rocha é mais fraturada e a tendência de formação de blocos e matacões é superior (ROBAINA *et al.*, 1994).

estruturas mergulham para fora da encosta (FERNANDES & AMARAL, 2003). Os últimos eventos magmáticos na região são representados por diques ácidos e básicos orientados N10°W (PHILIPP, 2008). Estas intrusões influenciam a dinâmica hidrológica de modo semelhante às falhas, condicionando diferenças na condutividade hidráulica e no grau de intemperismo (FERNANDES & AMARAL, 2003).

Sobrepostos ao embasamento cristalino ocorrem depósitos cenozoicos aluviais, de terraços e cordões arenosos, gerados pelas sucessivas transgressões e regressões marinhas da Planície Costeira (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). Essas unidades concentram-se em regiões planas e próximas aos corpos d'água, sendo pouco suscetíveis à movimentos de massa. Os depósitos eluviais, por sua vez, são produtos da alteração *in situ* dos maciços graníticos. Quando localizados em encostas e associados à deposição coluvionar, a qual produz solos de baixa coesão, são suscetíveis a escorregamentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e procedimentos empregados na elaboração do inventário de movimentos de massa município de Porto Alegre, bem como o cruzamento do mesmo com os fatores que condicionam a deflagração destes processos.

3.1 Elaboração do inventário de movimentos de massa

O inventário foi elaborado a partir da consulta aos relatórios de vistoria do Programa de Áreas de Risco (PAR) da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) do período de julho de 2007 a dezembro de 2013. Essas vistorias foram realizadas em atendimento a solicitações da Defesa Civil, do Departamento Municipal de Habitação e da população, devido à ocorrência ou alta probabilidade de ocorrência de acidentes geotécnicos. Os registros anteriores ao mês de julho de 2007 foram desconsiderados, pois ainda não havia um procedimento de coleta sistemática e armazenamento dos dados nessa época, resultando em lacunas nas informações que dificultam o seu mapeamento.

Os movimentos de massa foram organizados em uma planilha eletrônica, contemplando

as seguintes informações: endereço, ano, tipo de processo, tipo de ocupação (regular ou irregular), ocorrência ou possibilidade de ocorrência, descrição do evento e fotografias quando existentes. Foram considerados como “ocorrência” os eventos em que efetivamente houve deflagração do movimento de massa, e como “possibilidade de ocorrência” as situações com alto potencial de desencadeamento desses processos.

Posteriormente, os movimentos de massa foram georreferenciados manualmente no *software* Google Earth®, tomando-se como base o endereço de cada evento e contando com o auxílio dos profissionais do PAR para confirmar a localização obtida. Para a elaboração dos mapas utilizou-se o programa ArcGIS 10 (®ESRI).

3.2 Análise dos fatores condicionantes dos escorregamentos

Os escorregamentos são controlados por complexas relações entre fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e antrópicos (FERNANDES *et al.*, 2001). Com o intuito de melhor compreender essas relações na área de estudo, efetuou-se o cruzamento dos registros de ocorrência com os mapas dos fatores condicionantes mais citados na literatura. Para selecionar esses fatores considerou-se a revisão elaborada por Brito (2014), a qual verificou que os parâmetros condicionantes mais utilizados na análise da suscetibilidade a escorregamentos são: declividade, geologia, uso do solo e cobertura vegetal, geomorfologia e distância de lineamentos. Além disso, consideraram-se também as unidades geotécnicas, solos e área de captação a montante.

A partir desses cruzamentos determinou-se a frequência absoluta de escorregamentos em cada classe dos fatores condicionantes, além de parâmetros estatísticos básicos, tais como: média, desvio padrão, mínimo e máximo. O procedimento foi realizado com o auxílio do programa Idrisi Selva (©Clarklabs), porém apenas para os movimentos do tipo escorregamento, em número suficiente para análise estatística.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com o emprego da metodologia proposta. Primeiramente, são

apresentados os dados oriundos do inventário de movimentos de massa e, posteriormente, a análise dos fatores que condicionam estes processos no município de Porto Alegre.

4.1 Inventário de movimentos de massa

Os relatórios do PAR contabilizam 247 registros relacionados a movimentos de massa no município de Porto Alegre entre julho de 2007 e dezembro de 2013. Desse total, 132 são ocorrências efetivamente deflagradas, das quais 114 correspondem a escorregamentos e 18 a quedas de blocos. Os demais casos se referem a locais suscetíveis, sendo 84 com predisposição à ocorrência de escorregamentos e 31 à queda de blocos (Figura 2).

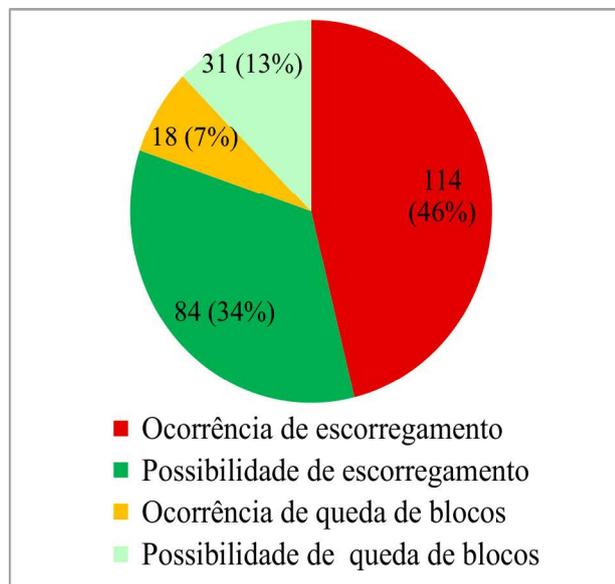


Fig. 2 - Registros relacionados à ocorrência e possibilidade de ocorrência de movimentos de massa no município de Porto Alegre entre julho de 2007 e dezembro de 2013.

Os anos de 2008, 2009 e 2013 apresentaram o maior número de registros, com 53, 47 e 47 casos, respectivamente (Figura 3). Nesses anos, ocorreram alguns dos maiores valores de precipitação pluviométrica acumulada, o que assinala a sua influência na deflagração dos movimentos de massa, como esperado (ZÊZERE *et al.*, 1999). Destaca-se o pico de registros em 2008, o qual pode ser explicado pelo evento de precipitação extrema no dia 03/05/2008, com um total de 165 mm em 24 horas (INMET, 2014). Embora no ano de

2007 se observe o maior valor absoluto de precipitação anual, o número de ocorrências é baixo, visto que só foram registrados eventos após o mês de julho. O ano de 2011 apresentou o menor número de casos, com 16 registros, o que não deixa de ser notável, visto que equivale a uma média de 1,33 registros por mês. A média geral no período é de 35 registros por ano, enquanto a média de casos em que houve a deflagração dos movimentos de massa é de 19 ocorrências por ano.

Ressalta-se que para uma análise detalhada dos fatores que levaram à deflagração dos movimentos de massa, é necessário avaliar a precipitação pluviométrica acumulada nos dias anteriores à ocorrência desses processos. Isso permite identificar os limiares de precipitação associados ao desencadeamento desses desastres (PARIZZI *et al.*, 2010). Seria interessante realizar também a análise sazonal desses processos (e.g. ROBAINA *et al.*, 2010) com o intuito de identificar os meses mais críticos. No entanto, neste estudo não foi possível obter a data exata de ocorrência dos registros, impossibilitando essas avaliações.

Do total de 247 registros, 222 foram georreferenciados satisfatoriamente (Figura 4). Os 25 casos restantes possuem lacunas na descrição de sua localização nos relatórios de vistoria do PAR, o que dificulta o seu georreferenciamento de forma inequívoca. Destes, 7 correspondem a escorregamentos, 14 são locais com possibilidade de ocorrência desse tipo de evento, 1 se refere a queda de blocos, e 3 são locais com possibilidade de ocorrência de queda de blocos.

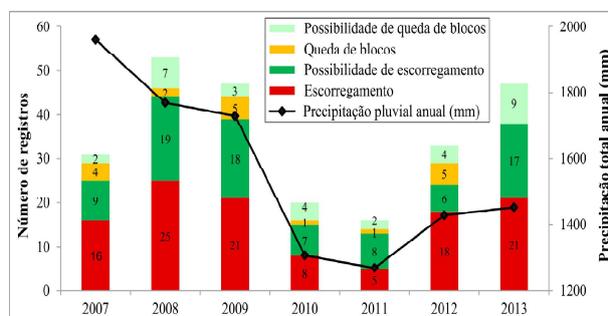


Fig. 3 - Registros relacionados a movimentos de massa e precipitação pluviométrica total (mm) em Porto Alegre entre julho de 2007 e dezembro de 2013. Fonte: INMET (2014).

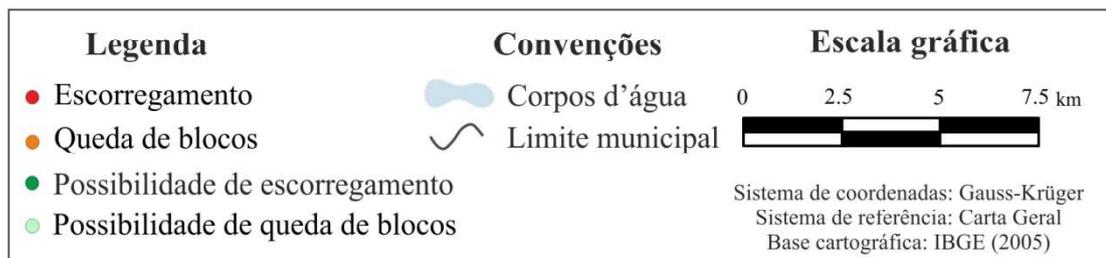
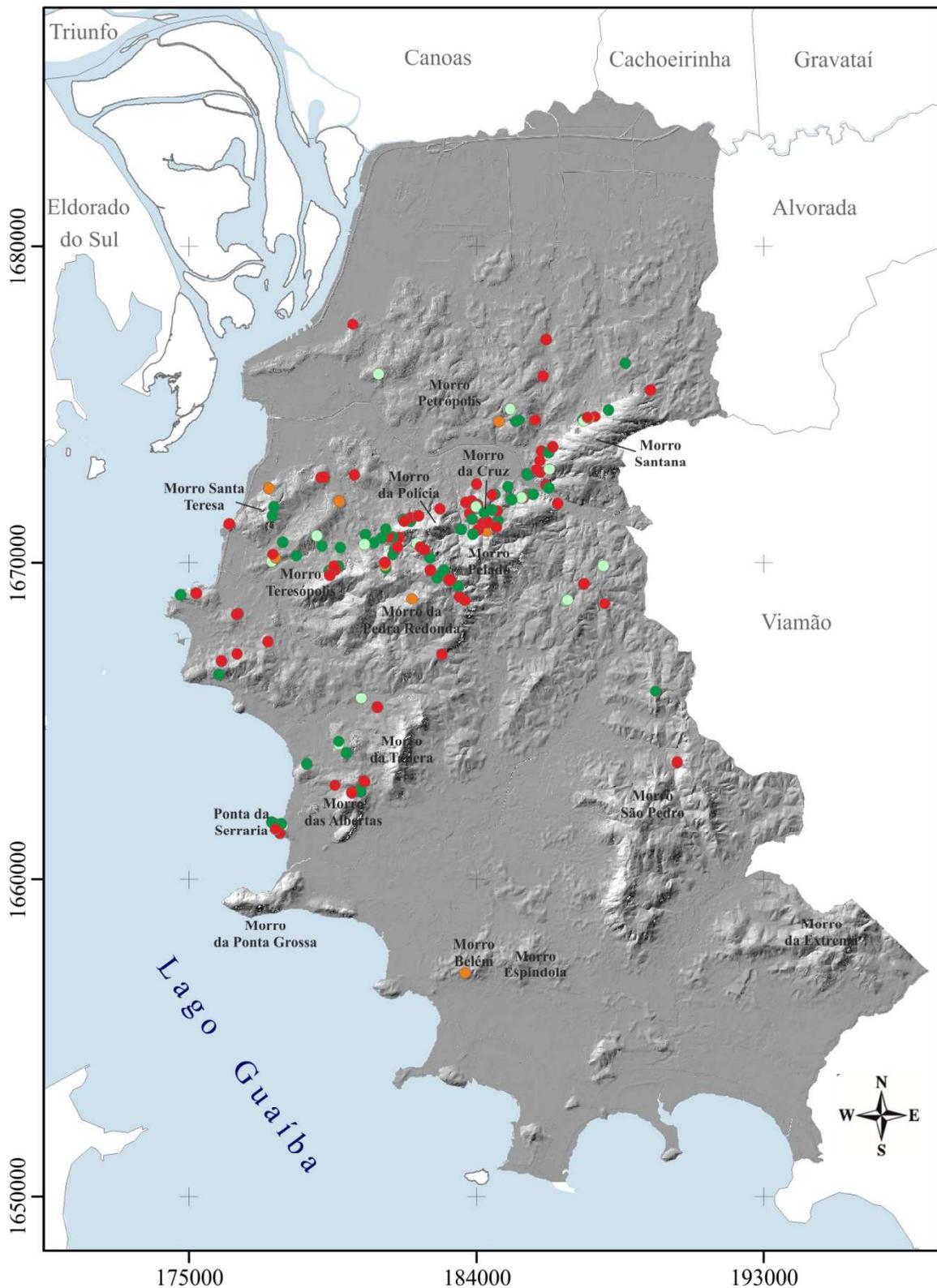


Fig. 4 - Localização dos movimentos de massa no município de Porto Alegre registrados entre julho de 2007 e dezembro 2013.

O inventário da Figura 4 mostra que a maior parte dos movimentos de massa, encontra-se alinhada no sentido SW-NE, a mesma orientação da Crista de Porto Alegre. No restante do município, os registros aparecem pontualmente nas encostas dos morros Santa Tereza, Alto Petrópolis e da Tapera. Os processos do tipo escorregamento concentram-se junto às vertentes dos morros da Polícia, Pelado e Santana.

As quedas de bloco, por outro lado, encontram-se dispersas no território, sendo mais frequentes nas antigas pedreiras de granito, localizadas na Ponta da Serraria, no Morro Santana e no Morro da Polícia. As cavas dessas pedreiras foram ocupadas indevidamente após sua desativação na década de 70. Como exemplo disso, destaca-se a pedreira da Vila Laranjeiras (Figura 5), a qual possui quatro bancadas verticalizadas com uma altura total de 70 m. Nesse local, as descontinuidades geradas pelos cortes realizados para o desmonte e extração mineral facilitam o desprendimento de blocos de rocha, colocando a população em risco.



Fig. 5 - Cava de mineração desativada e ocupada irregularmente no Morro Santana.

A ausência de registros nos morros graníticos no Sul do município, como nos morros da Extrema e São Pedro, é explicada pela sua baixa densidade populacional. Eventuais ocorrências muitas vezes não são registradas, pois não têm consequências diretas para a população ou para os elementos de infraestrutura. No entanto, a ocorrência de movimentos de massa nessas áreas não pode ser desconsiderada, visto que a declividade acentuada pode favorecer a instabilidade das encostas e desencadear

esses processos, especialmente sob ocupação inadequada.

Todos os movimentos de massa mapeados estão associados a áreas ocupadas, sendo que a intervenção antrópica é o principal agente deflagrador desses processos na área de estudo. Entre as situações que favorecem as instabilidades destaca-se: execução de cortes com inclinação excessiva na base do talude; construção de aterros com materiais inadequados; escavações na base da encosta; lançamento de águas servidas e pluviais diretamente nas encostas; vazamento de tubulações; obstrução da drenagem pelo lançamento de lixo ou entulhos; e cultivo de espécies impróprias.

A Figura 6 ilustra dois escorregamentos planares que foram deflagrados pela ação antrópica. No escorregamento da Figura 6a, a falta de um sistema de drenagem adequado, associado à execução de um corte com inclinação demasiadamente alta para qualquer tipo de solo, deflagrou esse processo. Já na situação retratada na Figura 6b, as águas servidas eram lançadas diretamente sobre a encosta, o que resultou na saturação e conseqüente redução dos parâmetros de resistência do solo.

Com relação ao tipo de ocupação, verificou-se que 184 (82%) movimentos ocorreram em locais de ocupação irregular e 38 ocorrências (18%) estão associadas a locais considerados regulares. Supõe-se que em áreas implantadas legalmente exista a adoção de técnicas para o controle do risco, como a construção de muros de contenção com sistemas de drenagem apropriados e a execução de cortes e aterros com geometrias adequadas, mas a realidade nem sempre é essa. Isso ocorre porque o conhecimento do comportamento do meio físico ainda não foi adequadamente incorporado aos planos diretores, leis de uso e ocupação do solo ou ao processo de licenciamento dos novos parcelamentos de solo. Portanto, a ocorrência de escorregamentos em áreas consideradas regulares não deve ser menosprezada. Um exemplo disto está retratado na Figura 7, a qual mostra um acidente geotécnico ocorrido em área de ocupação regular. A deflagração do movimento se deu em virtude da execução de um corte com geometria inadequada, desconsiderando os parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno do solo residual.



Fig. 6 - Escorregamentos planares deflagrados pela ação antrópica: (a) Talude de corte com inclinação excessiva na Rua Dallas em 2007. O substrato é constituído por solo saprolítico do granito Santana, com cerca de 30 cm de espessura; (b) Encosta natural na Rua São Guilherme em 2012, onde esgoto e entulhos eram lançados diretamente na encosta. Neste local, o solo residual arenoso do granito Ponta Grossa possui em torno de 1 m de espessura. Fonte: imagens cedidas pelo PAR (2013).



Fig. 7 - Escorregamento planar em talude de corte com geometria inadequada e sem cobertura vegetal em área de ocupação regular. Rua Prof. Antônio José Remião em 2008. Fonte: imagem cedida pelo PAR (2013).

Do total de 81 bairros de Porto Alegre, 28 contabilizaram registros de movimentos de massa no período analisado. Os bairros com mais registros foram: Cascata, São José, Protásio Alves, Agronomia, Hípica e Nonoai com 42, 28, 18, 18, 14 e 14 processos, respectivamente. Resultados similares foram encontrados por Reckziegel (2012). A maior frequência de movimentos de massa nesses bairros se justifica pela existência de fatores naturais que favorecem a instabilidade, aliada à intervenção antrópica sem considerar as questões de estabilidade de encostas.

Convém ressaltar que o inventário elaborado possui limitações, visto que foram contabilizados apenas os processos que causaram impactos à população e/ou suas atividades. Isso se deve ao fato de que o PAR tem como enfoque somente as áreas ocupadas, desconsiderando eventuais desastres ocorridos em locais não urbanizados, de forma que o número real de casos pode ser muito superior ao registrado. Além disso, o período analisado compreende apenas 7 anos, o que limita a capacidade para realizar projeções e destacar tendências futuras. Nesse sentido, Fell *et al.* (2008) comenta que, para esse propósito, os inventários devem incluir, pelo menos, os processos ocorridos nos últimos 10 ou 20 anos. Ressalta-se que, quando possível, a representação dos movimentos de massa por meio de polígonos ao invés de pontos é preferível. A partir disso é possível realizar análises estatísticas, as quais podem subsidiar a elaboração de mapas de suscetibilidade.

No entanto, apesar dessas limitações, acredita-se que os resultados obtidos podem fornecer informações importantes para o poder público municipal, possibilitando o melhor planejamento dos recursos humanos, tecnológicos e financeiros. O inventário pode auxiliar tanto na compreensão dos fatores condicionantes desses processos, quanto na identificação dos locais onde é necessário realizar mapeamentos detalhados, como por exemplo, análises de suscetibilidade e risco.

4.2 Análise dos fatores condicionantes dos escorregamentos

Devido ao número reduzido de ocorrências de quedas de blocos (18 registros), a análise dos fatores condicionantes foi realizada apenas para os escorregamentos. Os resultados obtidos a partir do cruzamento dos fatores condicionantes (figuras 8 e 9) com os 107 escorregamentos mapeados, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Frequência dos escorregamentos em cada classe dos fatores condicionantes

Fator condicionante	Classe	Área (km ²)	Número de escorregamentos	Porcentagem de escorregamentos
Declividade	0 a 5%	214,70	0	0,0%
	5 a 10%	65,21	1	0,9%
	10 a 15%	49,15	1	0,9%
	15 a 20%	36,61	0	0,0%
	20 a 25%	23,21	5	4,6%
	25 a 30%	14,79	11	10,2%
	30 a 35%	9,63	19	17,7%
	35 a 40%	6,35	13	12,1%
	40 a 45%	4,24	13	12,1%
	45 a 50%	2,83	12	11,2%
	50 a 55%	1,80	7	6,5%
	55 a 60%	1,10	8	7,4%
	60 a 65%	0,67	5	4,6%
	65 a 70%	0,40	3	2,8%
> 70%	0,75	9	8,4%	
	Mínimo	10,48	Média	46,07
	Máximo	129,63	Desvio Padrão	18,55
Geologia	Aterro	7,09	0	0,0%
	Cordões arenosos	18,74	0	0,0%
	Depósitos aluviais	23,58	0	0,0%
	Depósitos eluviais do escudo	68,11	11	11,2%
	Gnaisses Porto Alegre	13,96	1	0,9%
	Granito Canta Galo	12,15	0	0,0%
	Granito Independência	15,07	1	0,9%
	Granito Ponta Grossa	48,68	26	24,3%
	Granito Santana	34,21	62	57,9%
	Granito Viamão	69,23	5	4,6%
Terraços e cordões arenosos	120,38	1	0,9%	
Distância de lineamentos	0 a 100 metros	32,06	36	33,6%
	100 a 200 metros	30,24	23	21,5%
	200 a 300 metros	27,98	7	6,5%
	300 a 400 metros	24,65	9	8,4%
	400 a 500 metros	21,34	3	2,8%
	500 a 600 metros	18,94	2	1,8%
	600 a 700 metros	16,39	8	7,4%
	700 a 800 metros	14,74	1	0,9%
	800 a 900 metros	13,40	6	5,6%
	900 a 1.000 metros	12,98	3	2,8%
	> 1.000 metros	218,69	9	8,4%
		Mínimo	5,00	Média
	Máximo	5.521,00	Desvio Padrão	669,11

Fator condicionante	Classe	Área (km²)	Número de escorregamentos	Porcentagem de escorregamentos
Geomorfologia	Patamares planos	16,75	0	0,0%
	Morros isolados	5,18	5	4,7%
	Morros	112,60	85	79,4%
	Morros associados com colinas	20,38	8	7,5%
	Forma de colinas	109,95	8	7,5%
	Planícies deltaicas	42,96	0	0,0%
	Superfícies planas tecnogênicas	7,09	0	0,0%
	Planícies fluviais	8,32	1	0,9%
	Flúvio-lagunares com banhados	47,54	0	0,0%
	Planícies flúvio-lagunares	81,07	0	0,0%
	Planícies flúvio-lagunares com cordões arenosos	20,92	0	0,0%
	Colinas isoladas	3,55	0	0,0%
	Solo*	PV1	69,58	6
PV2		75,29	19	17,8%
CX		66,76	77	72,0%
SG1		127,01	1	0,9%
SG2		9,26	3	2,8%
GX		32,95	0	0,0%
G1		34,45	0	0,0%
G2		29,36	0	0,0%
RQ		11,68	0	0,0%
RU1		0,26	0	0,0%
RU2		9,39	0	0,0%
TT		7,42	1	0,9%
Água		2,90	0	0,0%
Unidades geotécnicas**		Residuais	66,76	77
	PV	69,58	6	5,6%
	Hidromórficos	264,67	5	4,7%
	Residuais/PV	75,30	19	17,8%

Fator condicionante	Classe	Área (km ²)	Número de escorregamentos	Porcentagem de escorregamentos
Área de captação à montante	0 a 250 m ²	291,29	75	70,0%
	250 a 500 m ²	62,16	16	14,9%
	500 a 750 m ²	23,55	7	6,5%
	750 a 1.000 m ²	11,93	3	2,8%
	1.000 a 1.250 m ²	7,21	0	0,0%
	1.250 a 1.500 m ²	4,92	2	1,8%
	1.500 a 1.750 m ²	3,58	0	0,0%
	1.750 a 2.000 m ²	2,76	1	0,9%
	2.000 a 2.250 m ²	2,20	1	0,9%
	2.250 a 2.500 m ²	1,80	1	0,9%
	> 2.500 m ²	20,32	1	0,9%
	Mínimo	25,00	Média	544,25
Máximo	18.700,00	Desvio Padrão	2.152,25	
Uso do solo e cobertura vegetal	Afloramento rochoso	0,43	0	0,0%
	Água	2,90	0	0,0%
	Arbóreo	96,19	5	4,6%
	Arbustivo	37,21	0	0,0%
	Cultivo	17,61	0	0,0%
	Herbáceo	115,05	5	4,6%
	Ocupação irregular	15,21	59	55,4%
	Ocupação regular	140,58	38	35,5%
Solo exposto	6,24	0	0,0%	

* PV1: argissolos vermelhos e vermelho-amarelos; PV2: argissolos vermelhos ou vermelho-amarelos com cambissolos háplicos; CX: cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou regolíticos; SG1: planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e plintossolos argilúvicos; SG2: planossolos hidromórficos, gleissolos háplicos e neossolos flúvicos; GX: gleissolos háplicos e planossolos hidromórficos; G1: gleissolos e neossolos flúvicos; G2: gleissolos, planossolos e tipos de terreno; RQ: neossolos quartzarenicos e gleissolos; RU1: neossolos flúvicos; RU2: neossolos flúvicos e tipos de terreno; TT: tipos de terreno.

** residuais: neossolos litólicos ou regossólicos e cambissolos háplicos; PV: argissolos vermelhos ou vermelho-amarelos; hidromórficos: planossolos, gleissolos, plintossolos, neossolos flúvicos; residuais/PV: neossolos litólicos e regossólicos, cambissolos háplicos, argissolos vermelhos e vermelho-amarelos

A partir da análise da Tabela 1 verifica-se que o substrato rochoso (Figura 8a) possui uma elevada correlação com a ocorrência de escorregamentos em Porto Alegre. Isto era esperado, visto que cada litotipo possui diferentes graus de coesão, resistência e permeabilidade, o que influencia a drenagem, textura e resistência da rocha ao intemperismo (KAMP *et al.*, 2008). Há um predomínio de escorregamentos no Granito Santana, fato já constatado por Reckziegel (2012). As 62 ocorrências (57,9%) registradas nessa litologia se concentram ao longo das zonas de falha e nas porções marginais dos corpos graníticos, onde

a rocha é bastante fraturada e a camada de regolito é rasa. Estas características resultam em diferenças bruscas na condutividade hidráulica no maciço, dificultando o fluxo vertical d'água. Tal situação favorece a saturação do solo, e conseqüente aumento da poropressão positiva e redução do fator de segurança da encosta (FERNANDES *et al.*, 2001). Esta descontinuidade mecânica e hidrológica ao longo do contato solo-rocha, aliada à concentração de ocupações irregulares, torna esta unidade suscetível a escorregamentos. Assim como no granito Santana, o elevado número de escorregamentos no granito Ponta Grossa

possivelmente está vinculado ao raso manto de alteração, com espessura de 30 cm a 1 m. Já a suscetibilidade dos depósitos eluviais, os quais contabilizam 11 registros, varia de acordo com a sua composição granulométrica e estrutura interna. Destaca-se, neste caso, o solo eluvial arenoso gerado pela alteração *in situ* do granito Ponta Grossa (BASTOS & DIAS, 1995), o qual é suscetível aos processos de erosão e lixiviação, que podem ser acelerados pela falta de sistemas de drenagem e esgoto adequados. Nos granitos Canta Galo e Viamão foi registrado um número reduzido

desses processos, o que pode ter ocorrido em virtude dessas litologias se localizarem em áreas de baixa densidade populacional, onde os fatores antrópicos que favorecem os escorregamentos não estão presentes. Por sua vez, o granito Independência, apesar de possuir uma espessa camada de alteração e mineralogia rica em minerais micáceos, o que poderia facilitar a ocorrência de escorregamentos rotacionais, possui somente um registro. Tal fato está vinculado à impermeabilização do substrato, visto que sobre esta unidade se localizam as áreas densamente urbanizadas, com raros afloramentos.

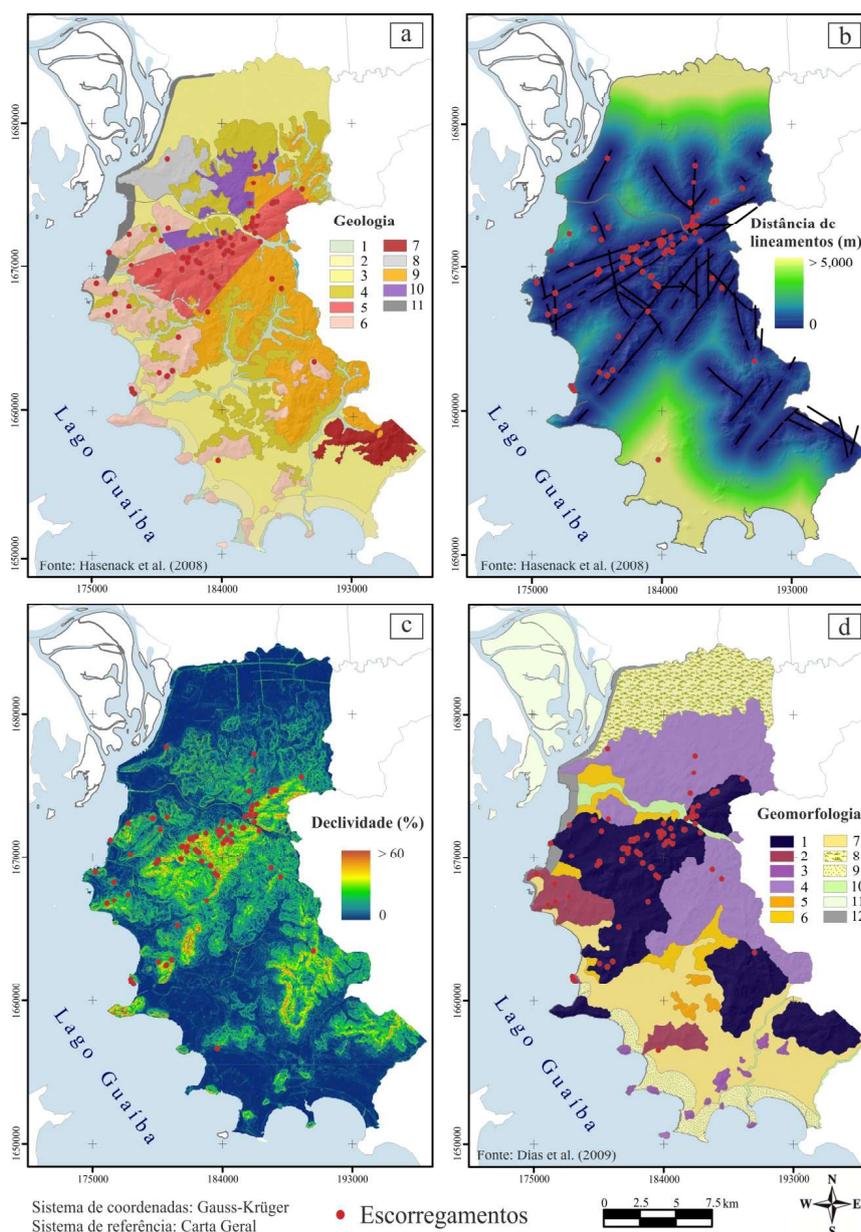


Fig. 8 - Fatores condicionantes: (a) Geologia (1: depósitos aluviais; 2: cordões arenosos; 3: terraços e cordões arenosos; 4: depósitos eluviais do escudo; 5: granito Santana; 6 granito Ponta Grossa; 7: granito Canta Calo; 8: granito Independência; 9: granito Viamão; 10: gnaisses Porto Alegre; 11: aterro); (b) Distância de lineamentos; (c) Declividade; (d) Geomorfologia (1: morros; 2: morros associados com colinas; 3: morros isolados; 4: colinas; 5: colinas isoladas; 6: patamares planos; 7: planícies fluvio-lagunares; 8: planícies flúvio lagunares com banhados; 9: planícies flúvio lagunares com cordoes arenosos; 10: planícies fluviais; 11: planícies deltaicas; 12: superfícies tecnogênicas).

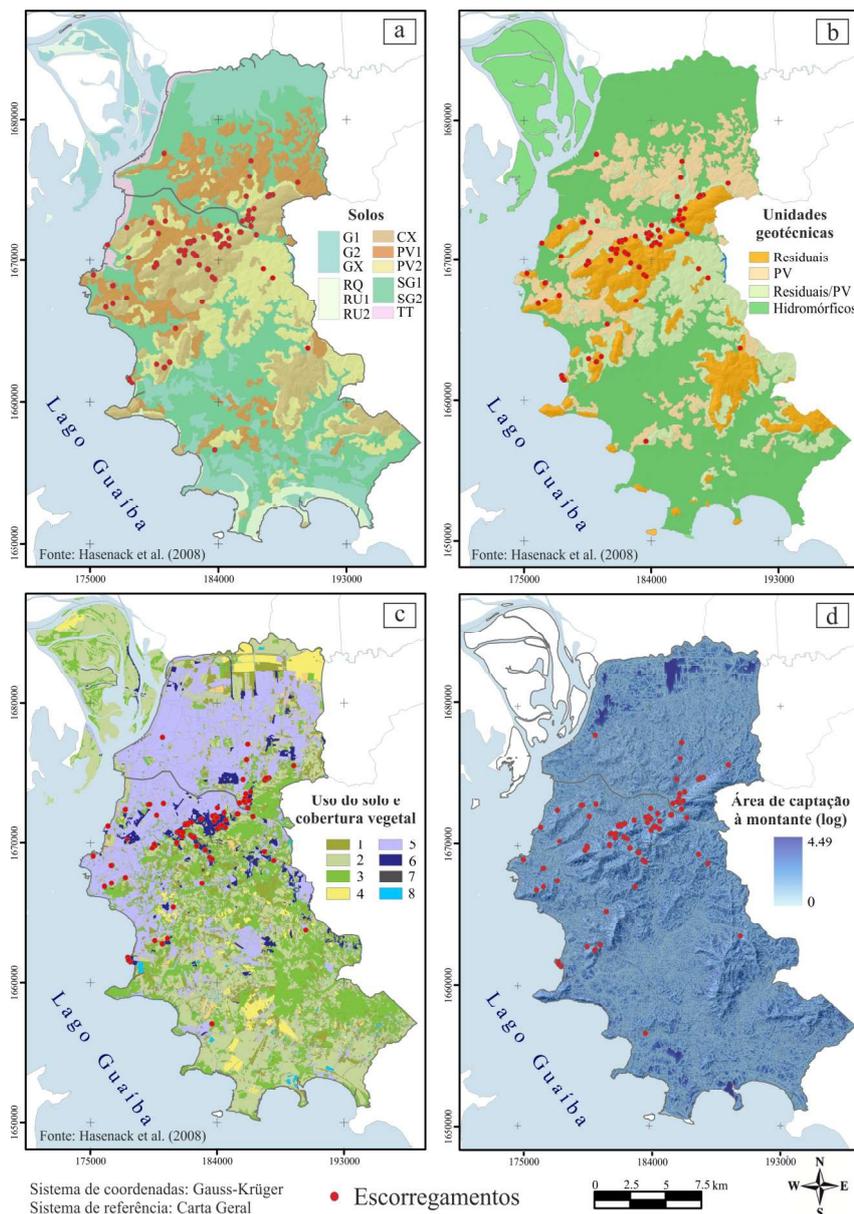


Fig. 9 - Fatores condicionantes: (a) solos; (b) unidades geotécnicas; (c) uso do solo e cobertura vegetal (1: arbustiva; 2: herbácea; 3: arbórea; 4: cultivo; 5: áreas regulares; 6: áreas irregulares; 7: afloramento rochoso; 8: água); (d) área de captação a montante.

No que diz respeito à distância de lineamentos (Figura 8b), 70% dos registros se situam até 400 m dessas estruturas, o que indica que esse fator tem uma grande relação com a predisposição do terreno a escorregamentos em Porto Alegre. Os lineamentos constituem-se em caminhos preferencias para a percolação de água e desempenham um papel importante na intemperização das rochas, através da formação de planos de fraqueza, contribuindo para a redução dos parâmetros de resistência (KAMP *et al.*, 2008; KOULI *et al.*, 2010). Akgün (2012) e Pourghasemi *et al.* (2012) também identificaram a distância de 400 m como a mais crítica para o condicionamento desses processos em áreas não ativas tectonicamente, sendo que

a partir desse valor a influência dos lineamentos pode ser considerada baixa. No entanto, um total de 9 escorregamentos ocorreu a mais de 1.000 m dos lineamentos. Esses processos estão associados, geralmente, a antigas áreas de extração mineral, o que possivelmente atuou como principal agente deflagrador. Deve-se considerar ainda que alguns lineamentos podem não ter sido identificados, devido à escala reduzida de seu mapeamento, a qual é de 1:50.000 (PHILIPP, 2008).

A declividade (Figura 8c) é o fator mais relevante para a predisposição do terreno a escorregamentos em Porto Alegre, visto que a mesma é diretamente proporcional à velocidade do movimento e, portanto, à capacidade de

transporte de solo (DIAS & HERRMANN, 2002). Cerca da metade dos escorregamentos (53,1%) ocorreu em encostas com declividades entre 30 e 50%, com valores médios de 46,07%. Esses valores são coerentes com os encontrados por Marcelino (2003) e Vanacôr e Rolim (2012) para outras regiões brasileiras. Observa-se que, quanto maior a declividade, maior tende a ser a densidade de escorregamentos. Acredita-se que o número de eventos em locais com relevo escarpado seja superior ao encontrado, uma vez que eventuais ocorrências não se tornam de conhecimento do PAR, já que essas áreas possuem baixa densidade populacional. Nos locais com declividades variando de 5 a 30% ocorreram 18 escorregamentos, o equivalente a 16,6% do total. A partir disso, constata-se que, apesar da declividade ser o principal fator predisponente dos escorregamentos, ela não é o único fator determinante da instabilidade.

Do ponto de vista geomorfológico (Figura 8d), o padrão em forma de morros concentrou a cerca de 80% dos registros de escorregamentos. As vertentes nestes locais apresentam forma retilíneo-côncava, com uma rede de drenagem caracterizada por arroios encaixados em vales entalhados (MOURA & DIAS, 2009). O elevado número de processos nesta unidade pode ser explicado pelo fato de que em encostas côncavas, o fluxo de água tende a se concentrar, tornando-as mais propícias a apresentarem pressões neutras elevadas e, desta forma, menores resistência ao cisalhamento (FERNANDES *et al.*, 2001). O restante dos escorregamentos foi registrado em áreas de relevo acidentado, nos padrões em forma de morros associados com colinas e em colinas. As vertentes destes compartimentos possuem segmento predominantemente convexo-côncavo, sendo possível observar, em alguns locais, significativas rampas coluvionares, as quais se caracterizam por depósitos originados por processos de movimentos de massa (DIAS *et al.*, 2009).

No que concerne o tipo de solo e unidades geotécnicas (Figura 9a e b), 72% dos registros ocorreram em solos residuais, na associação de cambissolos háplicos com neossolos litólicos ou regolíticos (CX). Esta unidade apresenta restrições à ocupação, visto que estes solos se desenvolvem em áreas de relevo montanhoso, onde as obras de nivelamento do terreno podem ocasionar situações de instabilidade (SCHNEIDER *et al.*, 2008). Além disso, os solos desta unidade são rasos, com

profundidades inferiores a 1 m e um perfil com horizontes A-R ou A-C-R, e apresentam baixa capacidade de infiltração (< 1.3 mm/h) (RISSO *et al.*, 2008). Um total de 19 processos (17,8 %) ocorreu na associação de argissolos vermelhos ou vermelho-amarelos com cambissolos háplicos (PV2). Estes solos são medianamente profundos, com um perfil de horizontes A-B-C bem definido e com capacidade de infiltração entre 1.3 e 3.8 mm/h (RISSO *et al.*, 2008). A aptidão nesta unidade varia de apta com restrições a baixa aptidão. Além disso, em alguns locais os argissolos ocorrem sobre depósitos coluvionares instáveis ou até mesmo paleossolos, como no caso do alterito da Serra de Tapes (SCHNEIDER *et al.*, 2008).

Com relação ao uso do solo e cobertura vegetal (Figura 9c), 55,4% dos escorregamentos ocorreram em locais de ocupação irregular e 35,5% em áreas regulares. Contudo, a análise das imagens de alta resolução do Google Earth® e dos relatórios de vistoria do PAR, revelou que 82% dos registros ocorreram em locais irregulares, conforme mencionado anteriormente. Essa discrepância deve-se ao fato de que ocupações espontâneas inseridas em áreas regulares não constam no mapa de uso do solo e cobertura vegetal utilizado (Figura 10), em função de serem muito pequenas para a respectiva escala de mapeamento, a qual é de 1:15.000 (HASENACK *et al.*, 2008). Além disso, a evolução da ocupação é dinâmica, e este mapa foi elaborado com base em imagens orbitais do ano de 2003. Apesar dessas diferenças, percebe-se que quase a totalidade dos eventos ocorreu em locais urbanizados. Isso acontece porque a ação antrópica atua, geralmente, de maneira desfavorável à estabilidade na área de estudo.

Para o fator área de captação à montante (Figura 9d), a maior quantidade de escorregamentos foi registrada na classe que varia de 0 a 250 m², com 75 registros, o equivalente a 70% do total. Nota-se que o valor mínimo foi de 25 m², ou seja, nenhum escorregamento ocorreu em locais com área de captação à montante próxima ou equivalente a 0 m², visto que os mesmos correspondem a linha do divisor de águas, geralmente pouca propensa a esses processos (MONDAL & MAITI, 2012). Os locais com áreas de captação à montante superiores a 2.500 m² apresentam baixa frequência de escorregamentos, pois embora tenham elevados níveis de umidade, possuem declividades reduzidas, o que não favorece a deflagração desses

fenômenos. Apesar de este fator estar relacionado com a concentração dos fluxos de água superficial e subterrânea e consequente saturação dos solos, ele não é tão relevante quando comparado com os fatores mencionados anteriormente (GHOSH *et al.*, 2011; MONDAL & MAITI, 2012).



Fig. 10 - Escorregamento ocorrido em área considerada regular segundo o mapa de uso do solo e cobertura vegetal elaborado por Hasenack *et al.* (2008). (Coordenadas UTM zona 22/WGS 84: 6673258 m N 479716 m E). (Elaborado a partir de uma imagem de 12/10/12 do Google Earth®).

De maneira geral, a análise da relação dos escorregamentos com os oito fatores condicionantes considerados permitiu identificar as classes onde estes processos são mais frequentes. No entanto, a descrição precisa dos materiais envolvidos no movimento, juntamente com a quantificação das propriedades geotécnicas do solo são fundamentais para a melhor compreensão dos mecanismos de ruptura. Dessa forma, o avanço no conhecimento dos condicionantes dos movimentos de massa depende da execução de investigações de subsuperfície, em escalas detalhadas. O programa de exploração deve prover, por exemplo, valores de ângulo de atrito, resistência à ruptura por cisalhamento, poropressões na camada aquífera, direção da camada geológica, mergulho de juntas com relação ao talude, bem como prováveis limites laterais e verticais dos escorregamentos.

CONCLUSÕES

A elaboração do mapa inventário permitiu identificar as regiões onde os movimentos de massa se desenvolveram com maior intensidade entre julho de 2007 e dezembro de 2013. Os resultados mostram que a ação antrópica, por

meio da ocupação desordenada das encostas, tem sido o principal fator preparatório e, até mesmo, desencadeador dos movimentos de massa em Porto Alegre, promovendo o decréscimo da estabilidade.

Com relação aos fatores condicionantes desses processos, verificou-se que os escorregamentos são mais frequentes em encostas com declividades superiores a 30%, na litologia granito Santana, até uma distância de 400 m de lineamentos estruturais, no padrão geomorfológico em forma de morros, em solos residuais, com uma área de captação à montante inferior a 250 m² e em áreas ocupadas irregularmente.

Acredita-se que o mapa elaborado constitui-se em um subsídio importante para tomadores de decisão, pois permite identificar os locais onde é necessário realizar estudos detalhados, possibilitando planejar melhor os recursos humanos, tecnológicos e financeiros. Espera-se que o estudo reforce a importância do poder público de Porto Alegre manter um grupo destinado ao monitoramento e gestão de risco de desastres. Essa equipe é necessária devido à existência de locais com elevada suscetibilidade a movimentos de massa e outros desastres naturais no município, que caso não tenham sua ocupação controlada, podem se constituir futuramente em áreas de risco.

Por fim, salienta-se que para melhor caracterizar os mecanismos de instabilização na área de estudo, é necessário realizar levantamentos em campo a fim de realizar a análise estrutural dos maciços, bem como ensaios geotécnicos. Neste estudo, não foram reunidas as condições materiais e humanas necessárias para efetuar levantamentos complementares detalhados, tendo em vista a extensão da área estudada e a dificuldade de acesso a alguns locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos integrantes do Programa de áreas de Risco (PAR) pelo fornecimento e auxílio na interpretação dos registros de movimentos de massa. A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado (processo N° 131160/2012-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKGÜN, A. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. **Landslides**, v. 9, p. 93-106, 2012.
- BĂLTEANU, D.; CHENDEŞ, V.; SIMA, M.; ENCIU, P. A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. **Geomorphology**, v. 124, p. 102-112, 2010.
- BAUZYS, F. Mapa de inventário dos movimentos de massa ocorridos no alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar, Santa Catarina. **Revista Geonorte**, v. 1, n.4, p. 788-799, 2012.
- BASTOS, C. A. B.; DIAS, R. D. Unidades geotécnicas de solos de Porto Alegre. **Revista do Instituto Geológico de São Paulo**, Volume especial, p. 85-89, 1995.
- BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 167 p.
- BRITO, M. M. Identificação de cicatrizes de movimentos de massa na borda oriental da bacia do paraná com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 56-70, 2015.
- BRITO, M. M.; WEBER, E. J. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa no bairro Cascata, Porto Alegre - RS, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. In: VIII Simpósio Sulbrasileiro de Geologia, Porto Alegre, 2013. **Anais...** p. 67, 2013.
- BRUNSDEN, D. Landslide types, mechanisms, recognition, identification. In: I Landslides in the South Wales Coalfield Symposium, Wales, 1985. **Proceedings...** p. 19-28, 1985
- DIAS, T. S.; FUJIMOTO, N. S. V. M.; SOARES, A. Q. S. Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre – RS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, 2009. **Anais**. p. 1-15, 2009.
- DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos de Geografia**, v. 3, p. 57-73, 2002.
- FELL, R.; COROMINAS, J.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 99–111, 2008.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. E CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 4^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. cap. 3, p. 123-194.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliao de metodologias e aplicao de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 51-71, 2001.
- FUJIMOTO, N. S. V. M. Implicaes ambientais na área metropolitana de Porto Alegre: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 12, p. 141-178, 2002.
- GHOSH, S.; CARRANZA, E. J. M.; VAN WESTEN, C. J.; JETTEN, V. G.; BHATTACHARYA, D. N. Selecting and weighting spatial predictors for empirical modeling of landslide susceptibility in the Darjeeling Himalayas (India). **Geomorphology**, v. 131, p. 35-56, 2011.
- GUZZETTI, F. **Landslide hazard and risk assessment**. Tese (Doutorado em Ciências da Terra). Bonn: University of Bonn, 2006. 373 p.
- GUZZETTI, F.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P.; CARRARA, A. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. **Environmental Management**, v. 25, p. 247-363, 2000.
- GUZZETTI, F.; GALLI, M.; REICHENBACH, P.; ARDIZZONE, F.; CARDINALI, M. Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, central Italy. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 6, p. 115-131, 2006.

- GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTANGELO, M.; CHANG, K. T. Landslide inventory maps: new tools for an old problem. **Earth-Science Reviews**, v. 112, p. 42-66, 2012.
- HASENACK, H; WEBER, E. J.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico ambiental de Porto Alegre**: geologia, solos, drenagem/ocupação e paisagem. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2005 (escala 1:500.000)**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Arquivo Digital.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**: Versão revista e ampliada. Brasília: INMET, 2009. 465 p.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, **Precipitação pluviométrica mensal no Jardim Botânico**. Porto Alegre: INMET, 2014. Disponível em: <www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?p_secao=16>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mortes por deslizamentos no Brasil - Banco de Acidentes**. São Paulo: IPT, 2014.
- KAMP, U.; GROWLEY, B. J.; KHATTAK, G. A.; OWEN, L. A. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. **Geomorphology**, v. 101, p. 533-543, 2008.
- KOULI, M.; LOUPASAKIS, C.; SOUPIO, P.; VALLIANATOS, F. Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymnon Prefecture, Crete Island, Greece. **Natural Hazards**, v. 52, n. 3, p. 599-621, 2010.
- LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S.; BENTZ, C. M.; FERREIRA, M. V.; NALETO, J. L. C. Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico – análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão – SP. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007. **Anais**. p. 2785-2796, 2007.
- MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. **Geomorphology**, v. 15, p. 213-225, 1996.
- MARCELINO, E. V.; FORMAGGIO, A. R.; MAEDA, E. E. Landslide inventory using image fusion techniques in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 181-191, 2009.
- MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2003. 228 p.
- MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. 3ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, 256 p., 2006.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO. **Lista dos 821 municípios com o maior número de ocorrências de desastres naturais**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=51c80bb2-9bf9-4193-9eb2-1ba2cb2937e2&groupId=10157>. Acesso em: 06 jun. 2015.
- MONDAL, S.; MAITI, R. Landslide susceptibility analysis of Shiv-Klola Watershed, Darjing: a remote sensing & GIS based analytical hierarchy process (AHP). **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 40, p. 483-496, 2012.
- MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre, RS. **Ciencia & Natura UFSM**, v. 34, n. 2, p. 113-138, 2012.
- PARISE, M. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial e Planetary Science**, v. 26, p. 697-703, 2001.
- PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M. C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO, J. M. D; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Geografias**, v. 6, n. 2, p. 49-68, 2010.

- PEREIRA, S.; ZÉZERE, J. L.; QUARESMA, I. D.; BATEIRA, C. Landslide incidence in the North of Portugal: analysis of a historical landslide database based on press releases and technical reports. **Geomorphology**, v. 214, p. 514-525, 2014.
- PINHO, G. M.; FRANCISCO, C. N.; SALGADO, C. M. Análise espacial dos movimentos de massa em Nova Friburgo/RJ: o caso do desastre natural de janeiro de 2011. **Revista Tamoios**, v. 9, n. 1., p. 16-27, 2013.
- PHILIPP, R. P. Geologia. In: HASENACK, H.; WEBER, E. J.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. cap. 1, p. 12-27.
- PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S. Geologia, petrografia e litogeoquímica dos gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: implicações geotectônicas. **Revista Pesquisa em Geociências**, v. 31, p. 79-94, 2004.
- PHILIPP, R. P.; VARGAS, J. A.; BENEDETTI, V. A memória geológica do centro antigo de Porto Alegre: o registro da evolução urbana nos prédios históricos e no urbanismo da cidade. **Revista Pesquisa em Geociências**, v. 36, p. 59-77, 2009.
- POURGHASEMI, H. R.; PRADHAN, B.; GOKCEOGLU, C. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. **Natural Hazards**, v. 63, p. 965-996, 2012.
- RASKA, P.; KLIMES, J.; DUBISAR, J. Using local archive sources to reconstruct historical landslide occurrence in selected urban regions of the Czech Republic: examples from regions with different historical development. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 142-157, 2015.
- RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 284 p.
- RECKZIEGEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. 90 p.
- RECKZIEGEL, E. W. Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS. In: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. (Orgs.). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. 1ª ed. Santa Maria: Editora UFSM, p. 360-376, 2013.
- RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L.A. Ocorrência de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana – RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 39, p. 193-209, 2012.
- RISSO, A.; LEÃO, M. I.; BELTRAME, L. F. de.; GONÇALVES, L. S.; SILVA, F. C. da. Drenagem. In: HASENACK, H.; WEBER, E. J.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. cap. 3, p. 44-55.
- ROBAINA, L. E. S.; KORMANN, T. C.; WIGGERS, M. M.; SCCOTI, A. A. V. Análise espaço-temporal das ocorrências de inundações e movimentos de massa no município de Caxias do Sul, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, p. 159-172, 2010.
- ROBAINA, L. E. S.; PHILIPP, R. P.; BICA, JR., V.; PEROTO, C. A. Morfodinâmica das encostas do Morro Santana, Porto Alegre, RS. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camburiú, São Paulo, 1994. **Anais**. p. 533-534, 1994.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. Solos. In: HASENACK, H.; WEBER, E.; MACUZZO, S. (Orgs.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ ocupação e paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, cap. 2, p. 28-43, 2008.
- SCHNEIDER, A. W.; LOSS, E. L.; PINTO, J. F. **Mapa geológico da folha Porto Alegre-RS**. Pesquisas Séries Mapas (7). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

- Instituto de Geociências, 1974. 1 mapa em folha 56 x 104 cm.
- STUMPF, A.; KERLE, N. Object-oriented mapping of landslides using random forests. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 2564-2577, 2011.
- TRIGILA, A.; IADANZA, C.; SPIZZICHINO, D. Quality assessment of the Italian landslide inventory using GIS processing. **Landslides**, v. 7, p. 455-470, 2010.
- UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina, CEPED. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 - Volume Brasil**. 2ª ed. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2013. 127 p.
- VANACÔR, R. N.; ROLIM, S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 15-28, 2012.
- VAN WESTEN, C. J.; CASTELLANOS ABELLA, E. A.; SEKHAR, L. K. Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology**, v. 102, p. 112-131, 2008.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas, v. 8, p. 1-45, 1995.
- WP, WLI. International Geotechnical societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. **Multilingual landslide glossary**. Richmond: BiTech Publishers Ltd, 1993. 32 p.
- WIGGERS, M. M.; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa na área urbana do município de Caxias do Sul (RS). **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 41, p. 260-279, 2014.
- XU, C. Preparation of earthquake-triggered landslide inventory maps using remote sensing and GIS technologies: Principles and case studies. **Geoscience Frontiers**, v. 6, n. 6, p. 825-836, 2015.
- ZÊZERE, J. L.; FERREIRA, A. B.; RODRIGUES, M. L. Landslides in the north of Lisbon region (Portugal): conditioning and triggering factors. **Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy**, v. 24, p. 925-934, 1999.