

**ANÁLISE DE RISCO GEOLÓGICO EM ENCOSTAS TECNOGÊNICAS URBANAS:
O CASO DO JARDIM FORTALEZA (GUARULHOS, SP, BRASIL)***GEOLOGICAL RISK ANALYSIS IN URBAN TECHNOGENIC HILLSIDES:
THE CASE OF JARDIM FORTALEZA (GUARULHOS, SP, BRAZIL)*

Elizabeth BRAGA¹
Alex Ubiratan Goossens PELOGGIA²
Antonio Manoel dos Santos OLIVEIRA³

RESUMO

Na análise de riscos geológicos do bairro Jardim Fortaleza (Guarulhos, SP) foi aplicada a combinação de dois métodos: o modelo fenomenológico da bacia, que identificou suscetibilidade a escorregamentos e riscos em função das características do relevo, do substrato geológico, da forma de ocupação e dos terrenos artificiais produzidos; e a caracterização geológico-geotécnica da área de risco mais significativa, associada ao mapeamento de detalhe das camadas naturais e tecnogênicas, identificação sistemática de indicadores de processos destrutivos e o cadastramento/setorização das moradias afetadas. Os resultados mostram que a intensidade do risco, resultante da conjunção da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa com as características da ocupação, é potencializada pela instabilidade das camadas tecnogênicas superficiais e pela precariedade construtiva das habitações.

Palavras-Chave: Riscos geológicos. Terrenos tecnogênicos. Jardim Fortaleza. Guarulhos.

ABSTRACT

In the analysis of geological risks of Jardim Fortaleza (Guarulhos, SP) was applied the combination of two methods: the phenomenological model of the basin, which identified susceptibility to landslides and risks depending on the terrain characteristics, the geological substrate of the occupation and the produced artificial ground; and geological and geotechnical characterization of the most significant risk area associated with the detailed mapping of natural and technogenic layers, the systematic identification of destructive processes indicators and the registration/sectorization of the affected homes. The results show that the intensity of the risk resulting from the combination of susceptibility to occurrence of mass movements with the settlement features are enhanced by the instability of technogenic surface layers and the housing poor constructive patterns.

Keywords: Geological risk. Technogenic ground. Jardim Fortaleza. Guarulhos.

¹ Prefeitura Municipal de Guarulhos, eng.elizabeth@gmail.com

² Universidade UNG, alexpeloggia@uol.com.br

³ Universidade UNG, amanoel2030@gmail.com

INTRODUÇÃO

As situações de risco em encostas urbanas são caracteristicamente associadas a fenômenos destrutivos induzidos pela ocupação inadequada de áreas vulneráveis em virtude de condições geológico-geotécnicas geradoras de perigo, cujas restrições ao uso são muitas vezes inclusive definidas na lei. Nesses terrenos alterados pela ocupação, é comum que tanto a constituição dos substratos geológicos quanto os processos de movimentação de massa se diferenciem dos “naturais”, e desse modo a análise de riscos deve desenvolver e aplicar procedimentos compatíveis com a situação, ou seja, a existência de terrenos tecnogênicos e as características das solicitações feitas a maciços em função dos tipos de intervenção realizadas.

É certo que a análise de riscos geológicos tem um caráter multidimensional (PELOGGIA, 2011), abrangendo dimensões como a administração pública, o contexto socioeconômico, as prioridades políticas, as determinações legais, a qualidade da educação e a subjetividade, que vão muito além da caracterização geológico-geotécnica. No presente trabalho enfocaremos justamente este último aspecto básico, com o intuito de enfatizar uma abordagem que, por um lado, insere as áreas de risco em um contexto de apropriação do relevo no qual as consequências da conjugação do padrão de ocupação com as características originais do sítio e aquelas resultantes do próprio processo possam ser dimensionadas. E que, por outro lado, em nível de detalhe, caracteriza os materiais e processos geológicos relacionados com o potencial desenvolvimento de processos destrutivos (causadores de perigo), em função da própria situação criada pela ocupação.

Enfatiza-se aqui, como tem sido detalhadamente caracterizado, por exemplo no Município de São Paulo (BARROS; PELOGGIA, 1993; PELOGGIA et al., 1992; PELOGGIA, 1998; OLIVEIRA et al., 2005; PELOGGIA; ZORZATO, 2000; ZORZATO, 2001; MIRANDOLA, 2008; MIRANDOLA; MACEDO, 2014), ou em outras cidades (OLIVEIRA et al., 2015; FRANÇA, 2015), que parte considerável dos perigos geológicos urbanos relaciona-se com depósitos tecnogênicos e parte significativa dos processos destrutivos têm caráter induzido.

Ressalta-se que esta consideração tem importância significativa no planejamento de ações de defesa civil, como em planos preventivos que tomam por base a identificação de áreas de perigo em função da suscetibilidade a movimentos de massa tendo como base parâmetros como declividade e constituição geológica natural, evidenciando as limitações deste método de cartografia geotécnica (como já observado por PELOGGIA, 1997, 1998).

ÁREA DE ESTUDO E MÉTODO DE TRABALHO

A área do Jardim Fortaleza (Figura 1) é caracterizada por marcante diferença entre a porção sul, formada principalmente por terrenos colinosos sustentados por sedimentos terciários da Bacia de São Paulo e amplas planícies de origem aluvial (atualmente planícies tecnogênicas), em que a ocupação urbana é mais consolidada, e a porção norte, de terrenos cristalinos pré-cambrianos que sustentam relevos movimentados de morrotes, morros e serras, nos quais tem se dado, nas últimas décadas, o avanço da urbanização periférica horizontal.

O assentamento do Jardim Fortaleza constitui exemplo de ocupação periférica que avança para um compartimento geológico-geomorfológico ainda pouco ocupado, cujo sítio assenta-se em rochas metamórficas e seus produtos de alteração, com coberturas pedológicas pouco espessas e coluviões nas áreas de maior inclinação. Esta situação foi e é comum nas franjas de ocupação urbana na Região Metropolitana de São Paulo, em função da configuração geológico-geomorfológica original, que induziu, historicamente, a criação de núcleos de ocupação em situações geomorfológicamente favoráveis (colinas terciárias) que, expandindo-se, ocuparam antigas planícies fluviais inundáveis e vertentes de morros e serras em terrenos cristalinos (AB'SABER, 2007; ABREU, 1986; PELOGGIA, 1998, 2005).

No caso do Jd. Fortaleza, como em outros, a urbanização foi realizada por terraplenagem extensiva, que movimentou grandes volumes de materiais geológicos que foram destinados ao preenchimento do fundo do vale, potencializando a implantação de lotes. Tal modelo de urbanização, evidentemente, repetiu um padrão perverso que há muito vem sendo condenado pelos especialistas em Geologia de Engenharia e pelos urbanistas, em função das deseconomias geradas e pelo potencial de geração de situações de risco.

A cabeceira principal de drenagem na área do assentamento foi trabalhada na forma de bermas sucessivas, cujos patamares foram ocupados de forma irregular com edificações, na maioria, de condições precárias, portanto com elevada vulnerabilidade, subsistindo entre eles taludes de elevada declividade (Figura 2). O resultado desta intervenção geomorfológica

foi a criação de três tipos básicos de terrenos tecnogênicos (PELOGGIA et al., 2014; PELOGGIA, 2015): os de degradação, em que se expuseram as alteritas (solos de alteração de rocha, saprolitos), os de agradação construídos (formados pelos depósitos tecnogênicos de aterramento) e os terrenos de agradação aluviais-induzidos (formados pela acumulação de sedimentos no fundo do vale decorrente da erosão acelerada) (Figura 2).

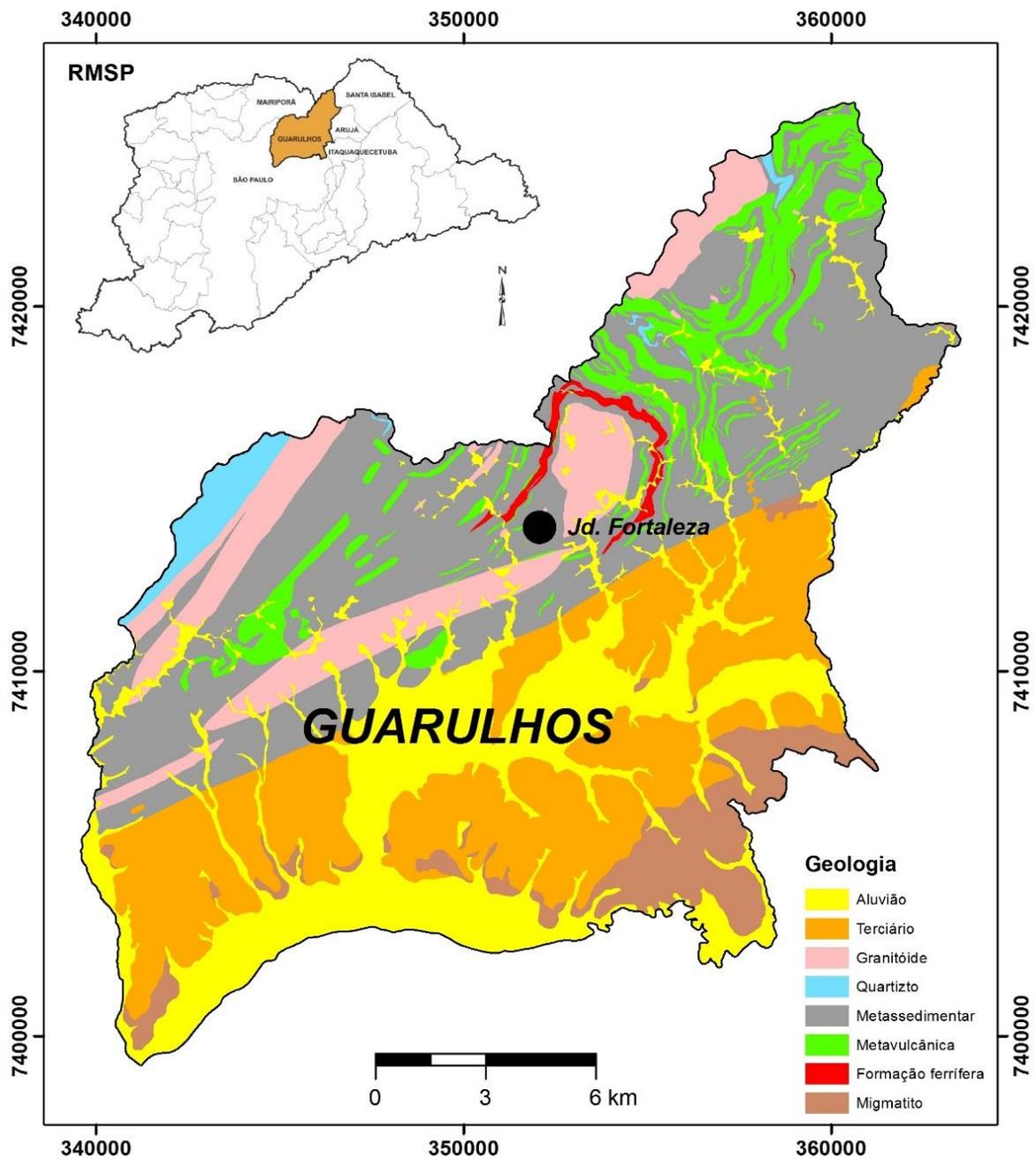


Figura 1. Localização da área de estudo e contexto geológico do município de Guarulhos. Fonte: Laboratório de Geoprocessamento UNG.

Figure 1. Location of the study area and geological context of the city of Guarulhos. Source: UNG GIS Laboratory.



Figura 2. Vista geral das condições de ocupação das cabeceiras de drenagem, com a implantação de ruas e lotes a partir do padrão corte-aterro.

Figure 2. Overview of occupation conditions of drainage headwaters, with the implementation of streets and lots from the cut-landfill pattern.

O Bairro contava com uma população de mais de 13 mil habitantes em 2010, e é acessado pela estrada Guarulhos-Nazaré Paulista e estrada Velha de Nazaré. O loteamento foi inteiramente estabelecido na bacia hidrográfica do Córrego do Entulho, inserida na bacia do rio Baquirivu-Guaçu, afluente do Tietê. A região é parte integrante de um cinturão de morros e montanhas do Planalto da Mantiqueira, incluída na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, estando notadamente inserida em um contexto de cabeceiras de drenagem cobertas por florestas.

Para a caracterização das situações de risco geológico na área estudada foi proposto um método integrado, consistindo de duas abordagens convergentes: por um lado, a caracterização do modelo fenomenológico geral da área, que levou em conta o registro das ocorrências de movimentos de massa e os indicadores de suscetibilidade aos mesmos, a

saber, declividade e constituição geológica dos terrenos. Caracterização mais detalhada foi realizada em área mais restrita (Figura 4), na qual, foi realizado o cadastramento e o zoneamento (ou setorização) de risco conforme os critérios propostos por Barros e Peggia (1993) (Quadro 1). O mapeamento geológico-geotécnico de detalhe foi realizado de maneira sincrônica à identificação de moradias afetadas por potenciais processos de instabilização relacionados à constituição do terreno e às intervenções realizadas na encosta.

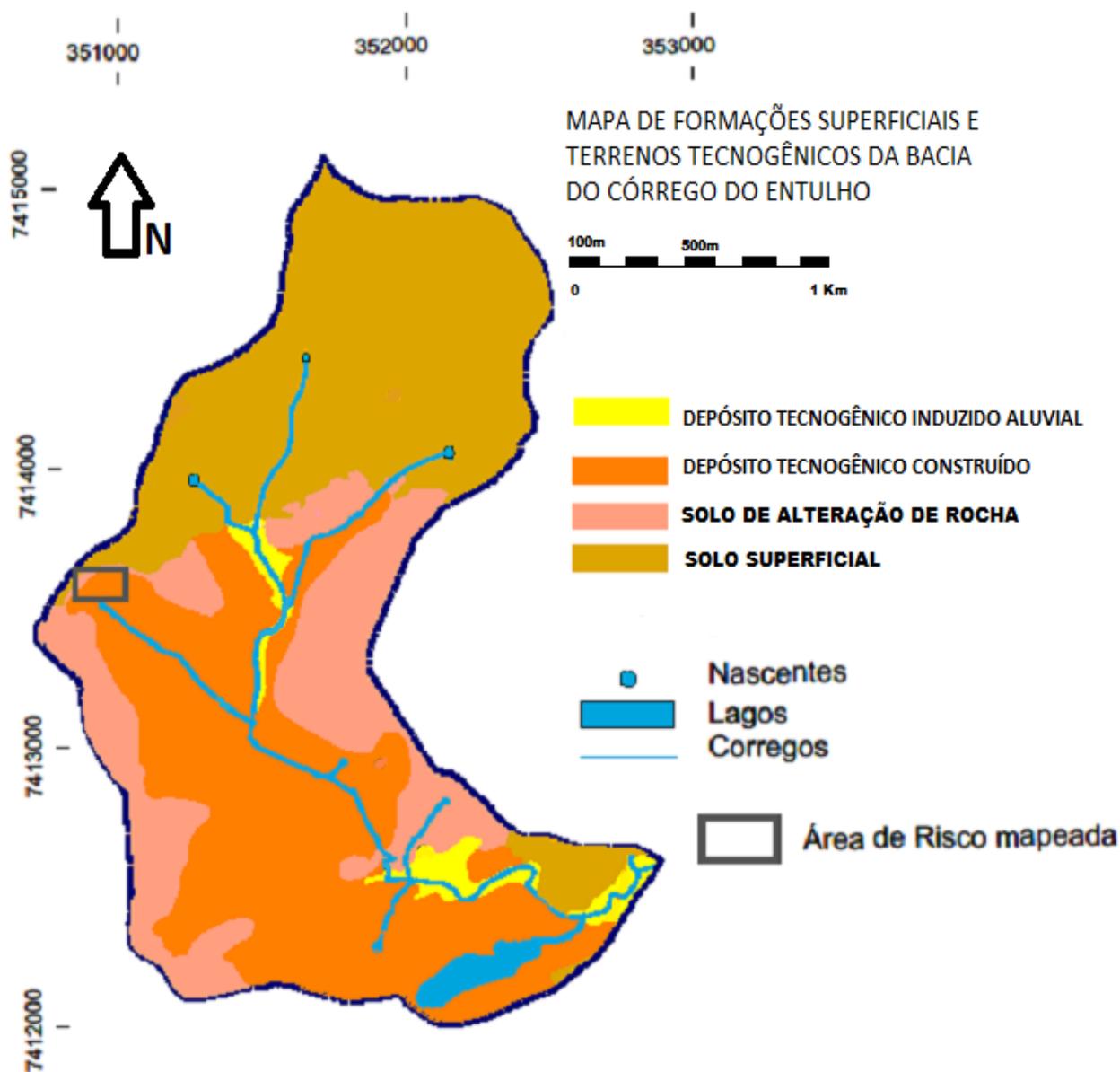


Figura 3. Formações superficiais e terrenos tecnogênicos da bacia do córrego do Entulho, em que se evidencia a transformação do ambiente geológico pela produção de terrenos artificiais de agradação e degradação. Adaptado de Mesquita (2011).

Figure 3. Superficial formations and technogenic ground in Entulho stream basin, showing the transformation of geological environment by agradation and degradation artificial ground. Adpted from Mesquita (2011).



Figura 4. Vista geral da área de risco mapeada, entre as ruas Edilson Charles dos Santos Jr (no alto) e Luiz Caputo (em primeiro plano).

Figure 4. Global view of mapped risk area, between Edilson Charles dos Santos Jr. (above) and Luiz Caputo streets (front view).

Zoneamento (Setorização) de Risco	
Risco Alto	Grande probabilidade de ocorrência de fenômenos destrutivos, generalizados ou localizados, porém frequentes, ou envolvendo volumes de materiais que sejam potencialmente causadores de danos ou vítimas.
Risco Médio	Possibilidade de ocorrência de fenômenos destrutivos localizados ou envolvendo pequenos volumes de material mobilizado, sendo reduzida a probabilidade de danos ou vítimas.
Risco Baixo	Condições de estabilidade satisfatórias, com baixa probabilidade de desenvolvimento de fenômenos destrutivos, a não ser em condições extremas e caso não sejam realizadas modificações na configuração do terreno.
Cadastramento de Risco	
Risco Iminente	Há evidências de processo destrutivo em andamento. Esta definição não guarda relação à gravidade das consequências do desenvolvimento do processo, o qual poderá evoluir em futuro próximo com ou sem a ocorrência de condições atmosféricas adversas. Recomenda-se a remoção preventiva imediata da população em risco.
Risco 1	Situação de potencial instabilidade gerando elevada possibilidade de destruição da moradia e ocorrência de vítimas. Recomenda-se a adoção de medidas emergenciais, mesmo que provisórias, visando melhorar a condição de estabilidade local, e acompanhamento da evolução das condições existentes.
Risco 2	Situação de potencial instabilidade de menor gravidade, sendo reduzida a possibilidade de destruição da moradia e ocorrência de vítimas. Recomenda-se vigilância quanto à evolução das condições existentes e adoção de medidas preventivas.

Quadro 1. critérios de hierarquização de risco para zoneamento e cadastramento (adaptado de Barros e Peloggia 1993, sendo os critérios de Risco 1 e 2 do cadastramento parcialmente modificados de Cerri e Carvalho 1990).

Chart 1. Ranking criteria of risk for zoning and registration (adapted from Barros and Peloggia 1993. and registration risk 1 and 2 criteria the partially modified from Cerri & Carvalho 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo fenomenológico resultou no mapa de suscetibilidade a escorregamentos e risco geológico da bacia (Figura 5). Tal diferenciação entre suscetibilidade e risco decorre essencialmente da ocupação ou não de partes do território. Para as áreas não ocupadas, o que se tem é a

possibilidade de ocorrência de escorregamentos, enquanto que, nas áreas ocupadas, em função da conjugação das características geológico-geotécnicas do substrato, do relevo original, dos terrenos artificialmente produzidos e das alterações nas encostas decorrentes da ocupação, se caracterizam efetivamente riscos.

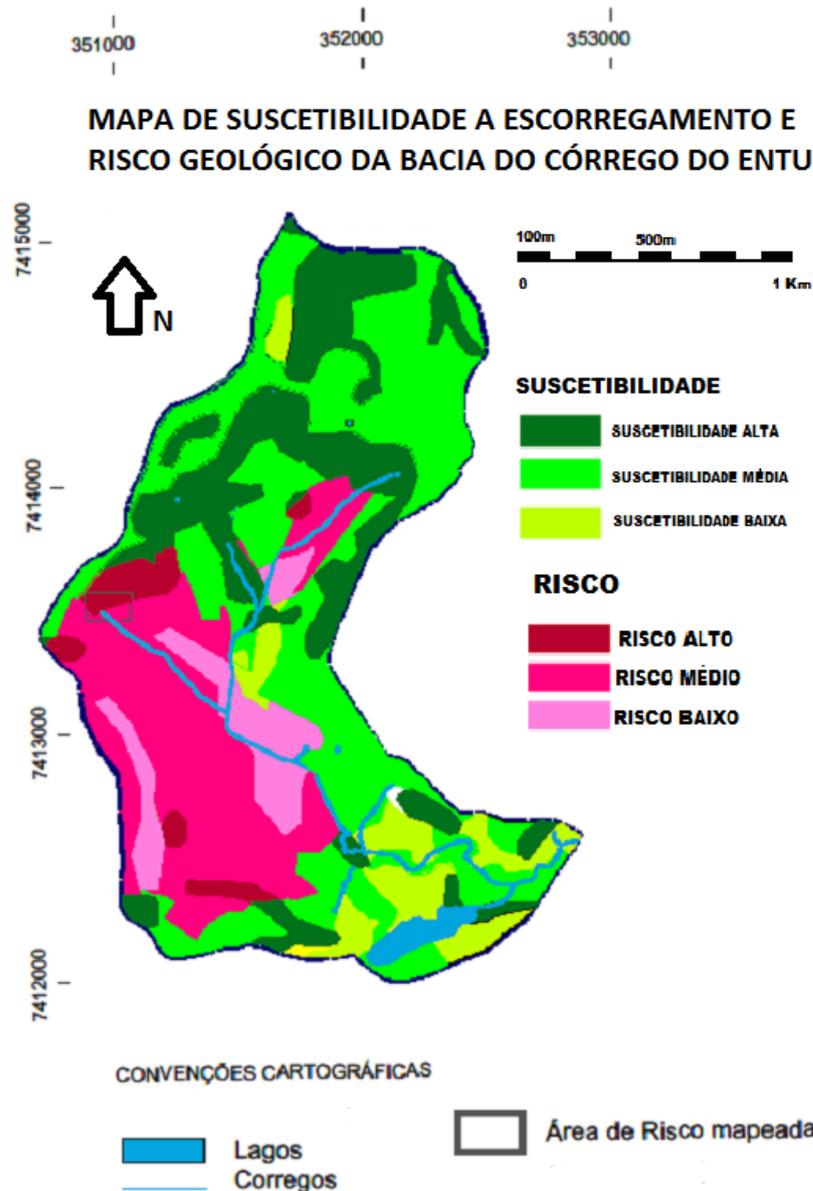


Figura 5. Mapa de suscetibilidade a escorregamentos e de riscos geológicos da bacia do córrego do entulho. Classificação de suscetibilidade conforme Gomes (2008) e de riscos conforme Barros e Peloggia (1993).

Figure 5. Map of susceptibility to landslides and geohazards of Entulho stream basin. Susceptibility classification according to Gomes (2008) and risk as Barros and Peloggia (1993).

Já a análise de riscos da área selecionada (Figura 4), efetuada pelo método de cadastramento e setorização (zoneamento), permitiu a elaboração do mapa geológico-geotécnico de detalhe (Figura 6), em que são representados os materiais geológicos tal como são verificados em campo e indicadores de instabilidade, bem como de perfis geológico-geotécnicos, em que a sobreposição de camadas é mostrada de forma a caracterizar unidades geológico-geotécnicas diferenciadas (Figura 7). Este procedimento permitiu, pela correlação da constituição do terreno com as características geométricas da encosta, a identificação de processos destrutivos potenciais.

A estrutura básica do terreno na encosta consiste de um depósito tecnogênico superficial, de caráter induzido – isto é, formado pelo sucessivo lançamento de material terroso, lixo e entulhos no topo da encosta e sua subsequente mobilização por gravidade ou pelas enxurradas –, denominado cobertura remobilizada (PELOGGIA et al., 1992; PELOGGIA, 1994). Tal cobertura é localmente sobreposta por depósitos tecnogênicos construídos mais recentes, resultantes da movimentação de material geológica para a implantação de moradias, ocorrendo ainda, localmente, depósitos de ocupação formados por restos de antigas moradias demolidas ou massas escorregadas (depósitos induzidos). Tais camadas antropogênicas sobrepõem-se a camadas naturais, sejam solos lateríticos superficiais ou diretamente a solos de alteração de rochas metamórficas foliadas.

A situação geotécnica da encosta mostra, portanto, a presença de camadas de material tecnogênico caracteristicamente pouco estáveis, isto é, frequentemente sujeitas a

movimentações de massa (notadamente escorregamentos de caráter translacional em geral delimitados na base pelo contato com o terreno natural). Os escorregamentos dessas camadas, assim como dos solos naturais superficiais ou colúvios, pode ser induzido pela efetuação de cortes a prumo, em geral efetuados para a implantação de patamares para moradias, agravando a situação de perigo (Figura 8). Nesse contexto, observaram-se tanto indicadores de processos de movimentação em andamento (Figura 9) como de escorregamentos já ocorridos (Figura 10).



Figura 6. Mapa geológico-geotécnico de detalhe (escala original 1:500) da área de risco do Jardim Fortaleza..

Figure 6. Detail engineering geological map (original scale 1: 500) of the risk area in the Jardim Fortaleza.

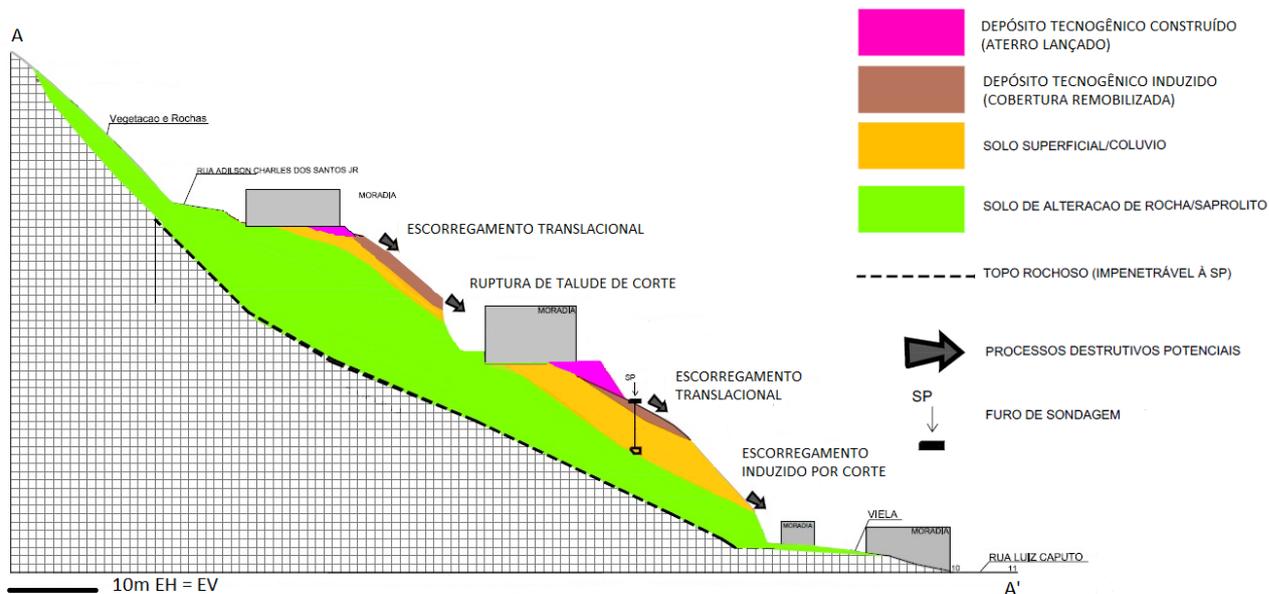


Figura 7. Perfil geológico-geotécnico A-A' (indicado no mapa da Figura 6).
Figure 7. A-A' geological and geotechnical profile (indicated in the map of figure 6).



Figura 8. Corte na encosta expondo a cobertura remobilizada tecnogênica sobre solo superficial e solo de alteração de rocha.

Figure 8. Cut slope exposing the technogenic remobilized coverage of topsoil and rock alteration soil.



Figura 9. Evidências de processos de movimentação de massa em andamento.

Figure 9. Evidences of active mass movement processes.



Figura 10. Em primeiro plano, massa escorregada resultante de movimento de massa induzido por corte na base da encosta.

Figure 10. In the foreground, mass accumulation resulting from the induced rupture of cut slope in the basis of the hillside.

Nos taludes de corte em que o solo de alteração de rocha é exposto (Figura 11), observaram-se, mesmo com inclinações elevadas, condições de estabilidade

satisfatórias, em função das boas características geotécnicas do material saprolítico e da disposição favorável das estruturas reliquias. Mais especificamente,

usando a nomenclatura proposta por Peloggia (2014), observa-se que os arranjos tridimensionais representados por estruturas litológicas (próprias à rocha, no caso a foliação principal) e descontinuidades estruturais superimpostas ocorrentes no maciço (famílias

de fraturas) não predispõem à ruptura. Assim, os taludes de corte acima da rua Adilson Charles dos Santos Jr., apesar da elevada inclinação e altura, apresentam segurança geotécnica satisfatória nas condições observadas.



Figura 11. Talude de corte em saprolito mostrando condição geotecnicamente estável devido ao arranjo favorável das estruturas reliquiárias.

Figure 11. Cut slope in saprolitic ground showing good geotechnical stability in function of the spatial arrangement of altered rock structures.

A partir da correlação entre a constituição dos terrenos, a ocupação e os processos destrutivos potenciais, elaborou-se o mapa de cadastramento e setorização (Figura 12), em que as moradias em risco são classificadas em função de sua situação individual, e englobadas em setores definidos pelas consequências potenciais dos processos destrutivos potenciais, conforme os critérios definidos no Quadro 1.

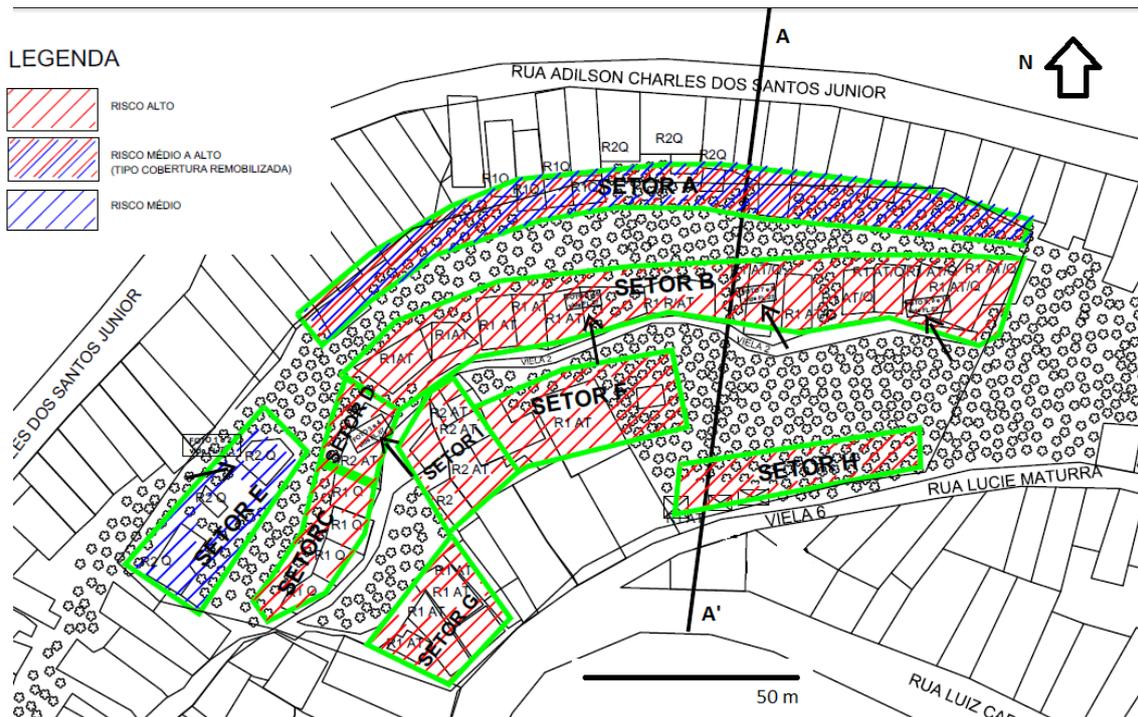


Figura 12. Mapa de cadastramento e setorização de risco (conforme critérios de Barros e Peloggia, 1993).
Figure 12. Risk registration and compartmentalization map (criteria as Barros and Peloggia, 1993).

CONCLUSÃO

Conclui-se que a aplicação integrada das duas abordagens, efetuadas em diferentes escalas de análise, permite ao mesmo tempo uma visão geral do quadro de suscetibilidade e risco no território da bacia (configurando-se como instrumento de planejamento territorial) e de análise detalhada de áreas de risco particularizadas (gerando subsídio para intervenções imediatas). O estudo realizado reforçou, ainda, as observações anteriores de que as situações de risco geológico em encostas urbanas são potencializadas pela ocorrência de terrenos tecnogênicos e pelas intervenções posteriores realizadas nos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Drs. Paulo César Boggiani (USP) e Anderson Targino Ferreira da Silva (UNG) pelas sugestões apresentadas quando da apresentação da dissertação de mestrado da primeira autora, defendida no Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental da UNG, e que deu origem a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A.A. **Ação antrópica e propriedades morfoodinâmicas do relevo na área metropolitana de São Paulo.** Orientação (Instituto de Geografia – Departamento de Geografia USP) n.7, p.35-38, 1986.
- AB’SABER, A.N. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo.** Cotia: Ateliê Editorial, 2007, 349p.
- BARROS, L.H.S.; PELOGGIA, A.U.G. **Cartografia geotécnica como fundamento para recuperação de áreas urbanas degradadas: o exemplo do Jardim Eliane, município de São Paulo.** Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, Poços de Caldas, Atas... ABGE, 1993, v.2, p.83-91.
- CERRI, L.E.S.; CARVALHO, C.S. **Hierarquização de situações de risco em favelas do município de São Paulo, Brasil: critérios e metodologia.** Simpósio Latino-Americano sobre Riscos Geológicos Urbanos, I, ABGE, Anais, São Paulo, p.150-157, 1990.
- FRANÇA, P. (Jr.). **Processos tecnogênicos em ambientes urbanos e sua relação com áreas de risco.** Encontro Regional da ANPEGE, 11, Anais... ANPEGE, 2015, p.6608-6617.
- GOMES, G.L.C.C. **Análise geoambiental de áreas de risco a escorregamentos nos loteamentos do Recreio São Jorge e Novo Recreio, município de Guarulhos - SP.** Guarulhos (SP), Dissertação, 2008 (Mestrado em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos).
- MESQUITA, M.V. **Degradação do meio físico em loteamentos nos bairros Invernada, Fortaleza e Água Azul como estudos de casos da expansão urbana no município de Guarulhos (SP).** Rio Claro (SP), 146p. Dissertação, 2011 (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas UNESP).
- MIRANDOLA, F.A. **Carta de risco de escorregamento em ambiente tecnogênico: o caso da favela Real Parque, São Paulo – SP.** São Paulo (SP), 217p, Dissertação, 2008 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT).
- MIRANDOLA, F.A.; MACEDO, E.S. **Proposta de classificação do Tecnógeno para uso no mapeamento de áreas de risco de deslizamento.** Quaternary and Environmental Geosciences v.5, n.1, p. 66-81, 2014.
- OLIVEIRA, A.M.S. et al. **Tecnógeno: registros geológicos da ação do Homem.** In: Souza, C.R.G. et al. (eds.) **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, cap. 17, p.363-378, 2005.
- OLIVEIRA, S.A.; PEIXOTO, M.N.O.; MELLO, E.V. **Lugares de perigo na Cidade do Aço: uma discussão sobre geotecnogênese, vulnerabilidade e risco ambiental em Volta Redonda (RJ).** **Encontro Regional da ANPEGE**, 11, Anais... ANPEGE, 2015, p.6471-6481.
- PELOGGIA, A.U.G. et al. **Riscos geológicos e geotécnicos em áreas de precária ocupação urbana no Município de São Paulo.** **Congresso Brasileiro de Geologia**, 37, SBG, Roteiros de Excursão v.11, São Paulo, 1992, 24p.
- PELOGGIA, A.U.G. **As coberturas remobilizadas: depósitos tecnogênicos de encostas urbanas no município de São Paulo.** Solos e Rochas v.17, n.2, p.125-129, 1994.

PELOGGIA, A.U.G. Deve haver um “método” para a cartografia geotécnica? Discussão metodológica acerca da cartografia geotécnica em algumas de suas modalidades mais difundidas. **Revista Brasileira de Geociências** (Brazilian Journal of Geology) v.27, n.2, p.199-206, 1997.

PELOGGIA, A.U.G. **O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo**: Xamã, 1998, 271p.

PELOGGIA, A.U.G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do Homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p. 24-31, 2005.

PELOGGIA, A.U.G. Análise multidimensional e gestão dos riscos geológicos: uma primeira aproximação. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13, São Paulo. **Anais...** ABGE, São Paulo, 2011 (CD-ROM), 10p.

PELOGGIA, A.U.G. Estruturas geológicas do manto de intemperismo e modelos geoestruturais aplicados à análise de riscos de escorregamentos: os maciços de alteração de rochas foliadas. **Revista UNG Geociências**, v.13, n.1, p.50-61, 2014.

PELOGGIA, A.U.G. et al. Technogenic geodiversity: a proposal on the classification of artificial ground. **Quaternary and Environmental Sciences**, v.5, n.1, p.28-40, 2014.

PELOGGIA, A.U.G. Camadas que falam sobre o ser humano, caso encontrem arqueólogos e geólogos que as escutem: rumo a uma arqueogeologia interpretativa dos depósitos antropogênicos. In: Ortega, A.M. e Peloggia,

A.U.G. (orgs.) **Entre o Arcaico e o Contemporâneo**: ensaios fluindo entre Arqueologia, Psicanálise, Antropologia e Geologia. São Paulo: Iglu, cap.7, p.189-221, 2015.

ZORZATO, D.; PELOGGIA, A.U.G. Análise do risco geológico urbano no Município de São Paulo na década de 1990. In: Peloggia, A.U.G. (org.) **Estudos de Geotécnica e Geologia Urbana (II)**. São Paulo: PMSP, 2000, 12p. (PMSP/SEHAB/HABI- GT-GEOTEC, Manual Técnico 5).

ZORZATO, D. **O risco geológico urbano no município de São Paulo na década de 1990**. São Paulo, 47p. e anexos. Monografia, 2001 (Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).