

Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas marginais a rodovias na Região Metropolitana de São Paulo

Landslide and flood risk mapping in marginal road areas in São Paulo Metropolitan Region

Flávio de Souza Rodrigues¹, Fabrício de Luiz Rosito Listo²

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi realizar o mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e a inundações em áreas marginais a uma importante rodovia do Estado de São Paulo. Sendo assim, um segundo objetivo do trabalho foi apresentar medidas geotécnicas de contenção aos processos mapeados. Para isso, as áreas de risco foram mapeadas a partir de visitas de campo e classificadas em quatro graus de risco (R1: baixo; R2: médio; R3: alto ou; R4: muito alto) utilizando fichas de cadastro que contemplam condicionantes naturais, antrópicos e evidências de instabilidade. Foram identificados oito setores de risco a escorregamentos (cinco com risco R2; dois com risco R3 e um com risco R4) e um setor de risco a inundação (R3). Este trabalho poderá contribuir no melhor monitoramento de impactos ambientais resultantes da construção de rodovias, sobretudo, resultantes do aparecimento de ocupações irregulares em áreas impróprias para a ocupação.

Palavras-chave: Rodoanel Metropolitano; impacto ambiental de rodovias; avaliação do risco; escorregamentos; inundações.

ABSTRACT

The objective of this paper was develop a landslide and flood risk map to areas located close to an important road in São Paulo state. Thus, the second objective was present geotechnical measures to mitigate the mapped processes. The risk areas were mapped from fieldwork and classified into four risk levels (R1: low; R2: medium; R3: high or; R4: very high) using registration forms that include natural constraints, anthropogenic processes and instability evidences. There were identified eight landslide risk areas (five were classified as a R2 risk, two were classified as a R3 risk and one were classified as a R4 risk) and one flood risk classified as a R3 risk. This paper can help monitoring the environmental impacts that may occur after the road construction, especially in the emergence of irregular settlements in unsuitable areas.

Keywords: Metropolitan beltway; highway environment impacts; risk assessment; landslides; floods.

INTRODUÇÃO

A construção de rodovias, principalmente quando associada a um planejamento deficiente, pode apresentar uma série de impactos ambientais negativos, tais como a supressão da cobertura vegetal, a movimentação de terra por meio de cortes e de aterros para posterior impermeabilização do solo, o uso de faixas em margens de recursos hídricos para implantação de obras (por exemplo, pontes), o desvio e a retificação de corpos hídricos, a desapropriação de áreas ocupadas, entre outros (NAIME, 2002; BANDEIRA & FLORIANO, 2004).

Tais intervenções podem colaborar para a ação de processos morfodinâmicos, principalmente, a ocorrência de erosões aceleradas, de escorregamentos, de assoreamentos e de inundações. Tratam-se de eventos naturais acelerados ou modificados pelo homem e que podem ocasionar situações de risco à população (FORMAN & GODRON, 1986; HART, 1986; PANIZZA, 1987; DOUGLAS, 1983; HOOKE, 1988; LISTO & VIEIRA, 2012).

Segundo o Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007), risco é a relação entre a possibilidade de um

¹Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Anhembi Morumbi - São Paulo (SP), Brasil.

²Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. Docente do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência: Flávio de Souza Rodrigues - Rua Amâncio Martins Bianco, 18 - Jardim Umuarama - 06030-100 - Osasco (SP), Brasil - E-mail: flaviosrodrigues@uol.com.br

Recebido: 29/07/15 - **Aceito:** 21/03/16 - **Reg. Abes:** 152649

processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um determinado elemento, sendo, portanto, a área de risco aquela passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeitos adversos.

No Brasil, Estudos de Impactos Ambientais (EIA) são obrigatórios para a implantação de rodovias visando avaliar os impactos ambientais do projeto, bem como, programar o monitoramento destes após a finalização da obra. Neste estudo, um dos aspectos a serem monitorados são o controle e a preservação de taludes, que são cortados e retalhados, para a execução de projetos geométricos de rodovias. Trata-se de uma intervenção geotécnica para evitar escorregamentos em rodovias em áreas que não devem ser ocupadas; sendo esta uma intervenção importante, já que no Brasil — principalmente no período do verão, quando os índices pluviométricos são mais elevados — ocorrem muitos prejuízos econômicos e sociais devido à ocorrência de escorregamentos e de inundações (SIMONETTI, 2010).

Um dos maiores impactos causados pelas rodovias ocorre justamente durante o período de operação da mesma, no qual, o mau gerenciamento das áreas ou a falta de planejamento territorial facilitam o surgimento de ocupações irregulares sujeitas a problemas geotécnicos (tais como processos erosivos, escorregamentos, entre outros), tornando-se áreas de risco a estes processos (Figura 1). Tais ocupações ocorrem, geralmente, em locais com topografia e condições geomorfológicas inadequadas ou com restrições ambientais para ocupação regular, como, por exemplo, as encostas dos morros e os fundos de vales, normalmente desprovidas de infraestrutura adequada (CERRI, 1993; AYALA, 2002; MACEDO *et al.*, 2004; LISTO & VIEIRA, 2012).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), existe uma importante rodovia, denominada Rodoanel Metropolitano Mário Covas,



Fonte: Jornal O Estado de São Paulo (2014).

Figura 1 – Áreas de risco instaladas irregularmente em trechos de talude de corte do Rodoanel Metropolitano, próximas ao bairro Parque Imperial.

com aproximadamente 180 km de extensão, responsável por interligar importantes cidades da RMSP. No entanto, há ocupações irregulares nesta rodovia, próximas aos taludes de corte executados e, portanto, instaladas em trechos considerados como de uso restrito, uma vez que podem apresentar riscos geotécnicos a escorregamentos e a inundações.

Tais ocupações (chamadas de Parque Imperial) estão situadas no trecho oeste da rodovia pertencente à cidade de Barueri, um dos municípios beneficiados pelo Rodoanel. Trata-se de ocupações precárias e desprovidas de infraestrutura e que podem aumentar a vulnerabilidade de áreas naturalmente mais frágeis e potencializar a ocorrência de processos morfodinâmicos (MINISTÉRIO DAS CIDADES e IPT, 2007). Assim, o objetivo principal deste trabalho foi o de realizar o mapeamento das áreas de risco a escorregamentos e a inundações nas áreas mais adensadas do bairro, localizadas muito próximas aos taludes de corte do trecho oeste do Rodoanel. Um segundo objetivo foi apresentar medidas geotécnicas de contenção aos processos mapeados.

ÁREA DE ESTUDO

O Parque Imperial surgiu na década de 1980, próximo aos primeiros condomínios residenciais do município de Barueri, formado por uma população em busca de trabalho na região. Parte deste bairro é formada por terrenos invadidos e revendidos; que provocou a desapropriação de uma grande área e de famílias ressarcidas pela municipalidade. Outro fato importante foi o deslizamento de terra ocorrido no bairro em 2009, onde as famílias foram removidas e instaladas em local seguro para ocupação.

Localiza-se a menos de 1 km do Rodoanel Metropolitano (Figura 2) e ocupa uma área de aproximadamente 845 mil m². É constituído por rochas metamórficas, com predomínio de filitos e pequenas intercalações de quartzitos, anfíbolitos e metacarbonatos (FUSP, 2009). Possui encostas retilíneas (declividade entre 0 e 3%) e fortemente onduladas (entre 20 e 45%) com solos de característica silto-argilosa, que podem favorecer a ocorrência de escorregamentos e de inundações. Climatologicamente, observa-se o clima tropical de altitude, com totais pluviométricos anuais correspondentes a 1.400 mm.ano⁻¹ (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2015). Apresenta vegetação típica de Mata Atlântica, constituída por florestas ombrófilas densas, além de áreas de reflorestamento (eucaliptos), herbáceas e espécies agrícolas (ELLEMBERG & MUELLER-DOMBOIS, 1965; SECRETARIA DE ESTADO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO, 2006).

É uma região com ausência de equipamentos básicos de infraestrutura, com densidade ocupacional variando entre média a alta, apresentando edificações de uso residencial e comercial. Conforme mencionado, em 2009, a região foi atingida por escorregamentos rasos, que causaram a destruição de moradias e por inundações severas, que atingiram as áreas internas de moradias, causando perdas materiais e econômicas.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) emitiu parecer técnico em 2013 (IPT, 2013), informando que o bairro apresentava áreas com problemas oriundos de processos morfodinâmicos (sobretudo escorregamentos e inundações). Esse cenário expõe a situações de risco as áreas naturais remanescentes, bem como a população instalada na área, pois desencadeiam perdas sociais e econômicas em cada episódio de escorregamento ou inundação.

METODOLOGIA

Mapa de uso e ocupação do solo

Para o mapeamento do uso e ocupação do solo, utilizou-se o método proposto por Almeida e Freitas (1996), o qual estabelece as categorias de uso do solo urbano (Tabela 2), suas características e quais os processos ou problemas evidenciados no meio físico podem ser decorrentes destas formas de uso. Posteriormente, efetuou-se o georreferenciamento de quatro fotografias aéreas da base de dados do *software ArcGIS (basemap imagery)* do ano de 2014. A interpretação das fotografias aéreas, realizada no *software ArcGIS* baseou-se na elaboração de polígonos que obedeceram a legenda estabelecida e detalhada na Tabela 1. Por fim, foram calculadas as frequências percentuais de cada classe de uso obtida neste mapeamento.

Mapa de áreas de risco a escorregamentos e a inundações

Para o mapeamento das áreas de risco a escorregamentos e a inundações, procedeu-se inicialmente o uso de uma ficha de cadastro, baseada no método proposto pelo Ministério das Cidades e IPT (2007), utilizada em

vistoria de campo para avaliação dos processos. Nas fichas, primeiramente, foram identificados os indicadores naturais (vegetação, relevo, cobertura superficial e drenagem) e antrópicos (número de moradias, padrão urbano, tipologia das construções, distância das moradias em relação às encostas e ao canal de drenagem, entre outros). Posteriormente, foram verificadas as evidências de movimentação (cicatrizes de escorregamentos, trincas e muros inclinados, entre outros), bem como as características do canal para o caso das inundações. Essa análise permitiu determinar a magnitude dos processos atuantes na região, bem como, classificar o risco com base na seguinte escala, de acordo com os critérios apresentados na Tabela 2:

- R1 (baixo);
- R2 (médio);
- R3 (alto) ou;
- R4 (muito alto).

Após as classificações, elaboraram-se os mapas de risco utilizando-se três fotografias aéreas retiradas da base de dados do *software ArcGIS (basemap imagery)*, que contemplavam as áreas vistoriadas. Trata-se de um zoneamento de risco a partir da homogeneização de setores com características e grau de risco similar. Os distintos setores foram delimitados considerando-se a declividade do terreno e o padrão de arruamento. Foram aplicadas nove fichas de cadastro durante quatro visitas de campo, as quais permitiram a delimitação de nove setores de risco (oito setores de escorregamentos e um setor de inundação). Estes setores inserem-se em três áreas de análise:

- Área A, que compreende os setores de risco a escorregamentos 1 e 2;
- Área B, que compreende os setores de risco a escorregamentos de 3 a 8 e;
- Área C, que compreende ao setor de risco a inundação 1.

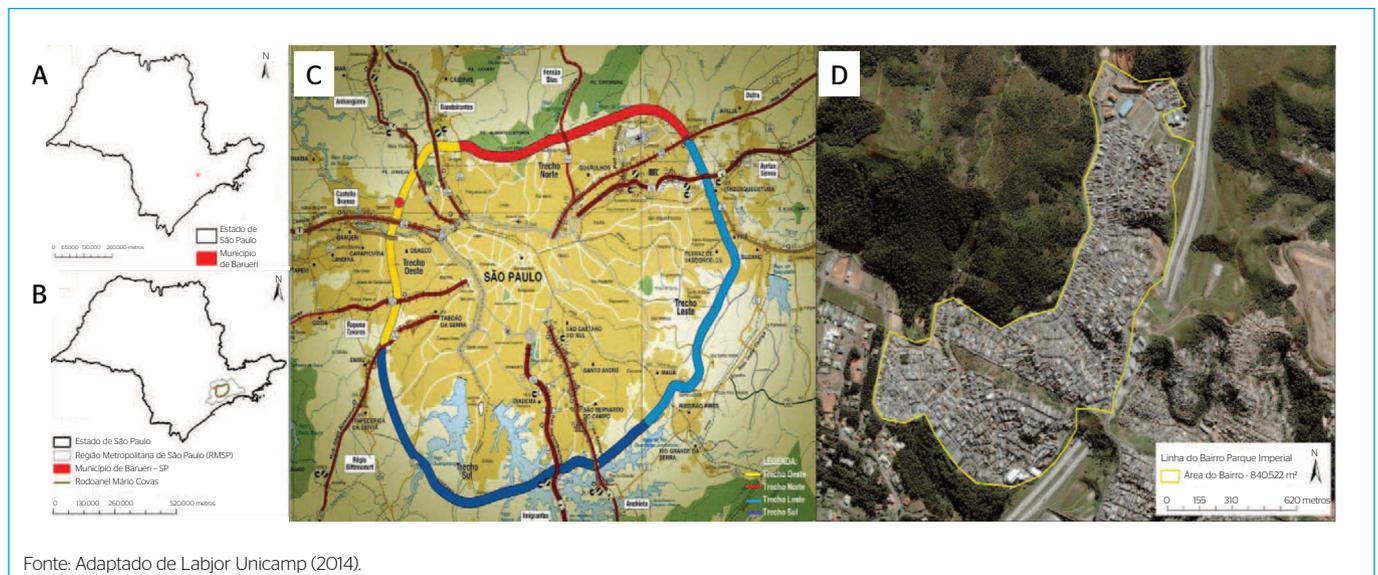


Figura 2 - (A) Localização do município de Barueri; (B) Localização do Rodoanel Metropolitano na RMSP; (C) Mapa do Rodoanel e seus trechos de implantação: o círculo vermelho localiza o Parque Imperial; (D) Limites do bairro Parque Imperial.

Proposição de medidas geotécnicas

Após a classificação das áreas de risco, os setores de risco foram avaliados por meio da compilação dos dados obtidos em campo (por exemplo, interpretação das fichas de campo e das fotografias aéreas), visando à proposição de medidas de recuperação (obras de infraestrutura — construções; ações de monitoramento —, implantação de instrumentos de medição, e ações de cunho social — orientação de procedimentos quando da ocorrência de eventos de escorregamento ou inundação) ou a remoção das moradias, caso se denote esta necessidade. Estas medidas foram baseadas nas alternativas de ações de prevenção de acidentes proposta pelo Ministério das Cidades e IPT (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do uso e ocupação do solo

O Parque Imperial encontra-se ocupado por edificações de uso habitacional, comercial e equipamentos urbanos de uso público, além de trechos compostos por solo exposto, vegetação rasteira e vegetação de porte arbóreo (Figura 3).

Ao avaliar-se as formas de uso do solo da região, pode-se identificar que a maior classe de uso é a área edificada (85%), ou seja, predominou no bairro o processo de impermeabilização do solo. A segunda classe de uso se compreende por áreas onde ocorreram interferências antrópicas (12%), nas quais predomina a exposição da superfície do solo aliada a vegetação rasteira. Por fim, a última classe de uso abrange áreas que

possuem cobertura vegetal típica de Mata Atlântica, além de áreas reflorestadas por eucaliptos e pinheiros (cerca de 3%), conforme a Figura 4.

A impermeabilização do solo desprovida de uma infraestrutura adequada, o surgimento de áreas com a superfície do solo em exposição e a redução da cobertura vegetal pode contribuir para a potencialização de escorregamentos e de inundações, que são agravados quando desprovidos de um planejamento urbano (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Dessa forma, a impermeabilização do solo reduz as áreas de drenagem das águas superficiais. Adicionalmente, a exposição do solo e o corte de vegetação facilitam a movimentação do solo, além de permitirem o livre escoamento das águas que funcionam como potencializadores de processos erosivos, escorregamentos e inundações.

A Área A (setores 1 e 2) possui cerca de 23 mil m² (Figura 5), que equivale a aproximadamente 3% da área total do bairro sendo composta por edificações, por remanescentes de vegetação de porte arbóreo e por trechos recobertos por solo exposto e vegetação rasteira. Avaliando-se a Área B (setores 3 a 8), observa-se que a mesma possui 26 mil m², equivalente a 3% da área total e que se encontra ocupada por edificações.

Estudando-se as formas de uso do solo da Área A é possível identificar que a maior classe de uso é a área edificada (56%), enfatizando o processo de impermeabilização do solo. A ocorrência de cobertura vegetal apresenta-se como a segunda classe de uso (41%) e, por fim, as áreas com interferências antrópicas (3%), com predomínio de solo exposto e de vegetação rasteira. Com relação à Área B, nota-se que a mesma foi integralmente edificada, portanto, toda a região se encontra impermeabilizada.

Tabela 1 - Formas de uso do solo em áreas urbanas.

Formas de uso do solo	Características
Cobertura vegetal (mata)	Inclui áreas cobertas principalmente por mata e capoeira. Nas áreas urbanas encontram-se em áreas restritas, onde o relevo é mais enérgico, ou nas áreas de preservação
Reflorestamento	Áreas de recomposição da cobertura vegetal, em sua maioria para fins econômicos
Campo antrópico/pastagens (interferências antrópicas)	Áreas onde predominam vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas. Localizam-se próximos às áreas rurais ou de expansão urbana
Áreas agrícolas	Áreas destinadas a cultivos perenes ou temporários (ciclo estabelecido). Nas áreas urbanas destacam-se a horticultura e as chácaras rurais (que destinam parte dos lotes a pequenos cultivos)
Área urbana consolidada (área edificada)	Caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infraestrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc.
Área urbana em consolidação	Constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda alguns vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução
Área urbana parcelada	Corresponde à ocupação periférica, de densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infraestrutura e equipamentos urbanos
Favelas	Habitacões precárias, instaladas ao longo dos córregos ou em encostas, sem infraestrutura básica (saneamento de água, esgotos, etc.)
Disposição de resíduos	Locais para destinação final do lixo urbano, na forma de aterro sanitário, lixão ou aterro controlado

Fonte: Adaptado de Almeida e Freitas (1996).

Ao compararem-se as formas de uso do solo da Área A e da Área B com a potencialização de escorregamentos e de inundações percebe-se que as áreas de solo exposto, a impermeabilização e a redução de áreas vegetadas contribuem à geração de riscos a escorregamentos, uma vez que com a diminuição das áreas de drenagem das águas, facilita-se o

desprendimento do solo, favorecendo, assim, a instabilidade das encostas. Neste caso, não ocorrem riscos a inundações, tendo em vista que, na região em estudo, não ocorrem canais de drenagem.

A Área C (Figura 6) possui cerca de 20 mil m² que equivalem a 2% da área total do bairro e é composta por áreas edificadas e áreas

Tabela 2 - Critérios para determinação do grau de risco a escorregamentos e a inundações.

Grau de probabilidade	Descrição para processos de escorregamento	Descrição para processos de inundação
R1 Baixo ou sem risco	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos; não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens; mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registro de ocorrências significativas nos últimos 5 anos)
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos; observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s); mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos e média frequência de ocorrência (registro de 1 ano de ocorrência significativa nos últimos 5 anos)
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos; observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.); mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (registro de 1 ano de ocorrência significativa nos últimos 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade
R4 Muito alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos; as evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude; mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, principalmente sociais, alta frequência de ocorrência (pelo menos 3 eventos significativas em 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade

Fonte: Ministério das Cidades e IPT (2007).



Figura 3 - Mapa de uso e ocupação do solo do bairro Parque Imperial de 2015.

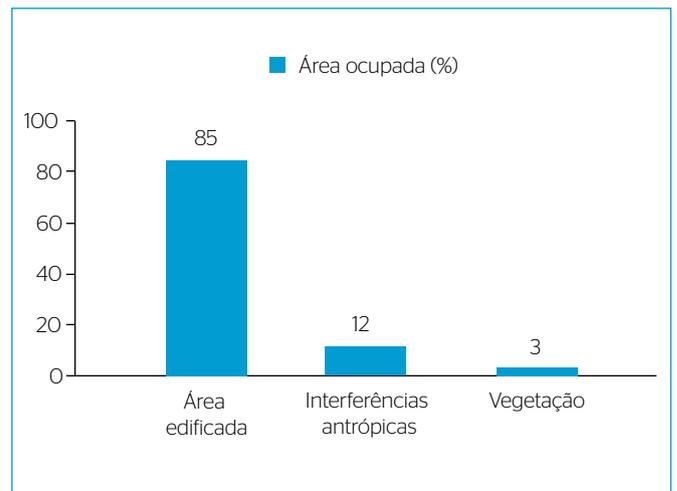


Figura 4 - Representação gráfica das taxas de uso e ocupação do solo.

providas de solo exposto e vegetação rasteira. Ao avaliarem-se as formas de uso do solo é possível identificar que a maior classe de uso é representada pelas áreas edificadas (55%), o que demonstra o processo de impermeabilização do solo. As áreas com interferências antrópicas (solo exposto e vegetação rasteira) também apresentam uma elevada frequência (45%).

Comparando-se as formas de uso do solo com a potencialização de escorregamentos e inundações observou-se que as áreas com solo exposto, impermeabilizadas e com redução de áreas vegetadas contribuíram à geração de riscos a inundações, tendo em vista que estas ações diminuem as áreas de drenagem e controle de cheias e permitem o carreamento do solo, gerando, assim, erosões nos taludes marginais e o solapamento das margens do canal. Neste caso, não ocorrem riscos a escorregamentos, tendo em vista que na região em estudo não ocorrem áreas com declividade acentuada e, tampouco, edificações em áreas de encosta.

Mapa de áreas de risco a escorregamentos

De acordo com o mapeamento realizado, os setores 1, 3, 6, 7 e 8 (Figura 7) apresentaram alta densidade ocupacional (superior a 100 moradias), mas foram classificados sem risco (R1) devido à inexistência de características indicadoras de risco a escorregamentos, tais como trincas nas moradias, postes e árvores inclinadas, entre outros. Já os setores 4 e 5 (Figura 7) apresentaram média densidade ocupacional (cerca de 100 moradias) com sinais de instabilidade (trincas e degraus de abatimento) aparentes em função da ocorrência

recente de escorregamentos na região, portanto com risco alto — R3 (Figura 8). Por fim, o setor 2 (Figura 7) apresentou média densidade ocupacional (com 25 moradias), instalado em encostas declivosas ($>90^\circ$), ocupadas por moradias e lotes em taludes de cortes mal executados com alturas que variaram entre 4 e 8 m (Figura 8), sendo, portanto, classificado com risco muito alto — R4 (Figura 8). Para este setor, espera-se a ocorrência de escorregamentos rasos nos taludes de corte e há possibilidade de ruptura dos depósitos de encosta, gerando volume suficiente para atingir as moradias situadas à jusante.

Visando a redução dos riscos, sugere-se a execução de estudo geológico-geotécnico de detalhe para dimensionamento de obras (muros e aterros), a execução de canaletas de topo e base a fim de retirar o máximo de água da superfície do talude de corte, o cadastramento dos pontos de lançamento e concentração de água em superfície (tubulações e redes de esgoto), a instalação de estruturas de contenção localizadas ou lineares (muros de contenção, de arrimo e tirantes) — caso os estudos denotem essa necessidade —, a avaliação das obras de contenção aos fundos das moradias (muros de arrimo e atirantamentos), o monitoramento da evolução das trincas em moradias, terrenos e inclinação das árvores localizadas no talude, que antecipam problemas de instabilidade e a orientação dos moradores acerca dos procedimentos em casos de alertas durante as chuvas.

Mapa de áreas de risco a inundações

Mapeou-se apenas um setor de risco à inundação na área (Figura 9), que apresentou alta densidade ocupacional (70 moradias), um canal

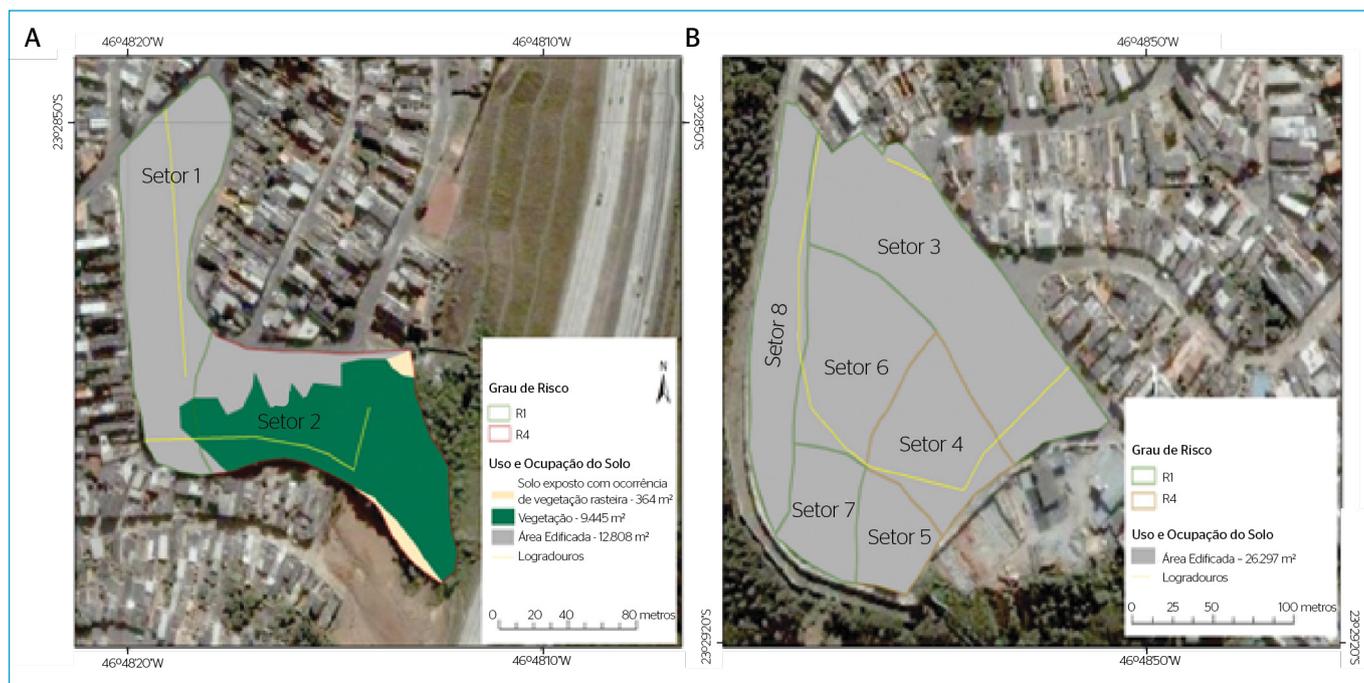


Figura 5 - (A) Mapa de uso do solo da Área A; (B) Mapa de uso do solo da Área B.

meândrico e assoreado com aproximadamente 1,5 m de largura e margens com 2 m de altura (Figura 10). Há edificações construídas muito próximas à margem direita do córrego sujeitas a processos de inundação e, dessa forma, o setor foi classificado como risco alto (R3), conforme pode ser visto na Figura 10. Para este setor, espera-se a ocorrência de inundações rápidas e com grande possibilidade de impacto nas moradias, comércios e vias de acesso.

Mirando a redução dos riscos, sugere-se a execução de estudo hidrológico (medir a área de contribuição do canal — área de escoamento, calcular o fluxo de água em razão do tempo de recorrência e projetar para os próximos 100 anos) da bacia para dimensionamento de obras necessárias à mitigação do risco, efetuar a avaliação dos dispositivos de drenagem superficial (canaletas de drenagem, redes de esgotamento sanitário, lançamentos indevidos no corpo d'água), avaliar a vazão de água ocorrente sob as estruturas (pontes e travessias), realizar o monitoramento dos processos de solapamento das margens, evitando, assim, o assoreamento do canal, realizar a limpeza periódica do córrego para remoção de resíduos sólidos de grande porte (lixo urbano e rejeitos da construção civil), instalar régua de nível de água, e orientar os moradores das ações em períodos de chuvas.

Ao confrontar os resultados obtidos nessa pesquisa aos de Cerri *et al.* (2007) em diversas regiões do município de São Paulo (SP), verificou-se que um número abaixo de setores foram encontrados para o

Parque Imperial, tendo em vista que durante os trabalhos dos autores foram vistoriadas 214 áreas e identificados 522 setores de risco, dos quais 127 setores (24%) apresentaram probabilidade muito alta (R4), 158 setores (30%) com probabilidade alta (R3), enquanto os setores com probabilidades média (R2) e baixa (R1) totalizam 237 (46%). Ainda, se contabilizaram cerca de 27.500 moradias, incluídas aquelas indicadas para remoção definitiva. Isso ocorreu pelo fato de que a pesquisa realizada pelos autores compreendeu um número maior de setores avaliados e a pesquisa neste trabalho compreendeu apenas um bairro específico do município de Barueri (SP). No entanto, ambas as pesquisas têm como premissa nortear ações por parte da Defesa Civil com relação às medidas a serem tomadas.

Andretta *et al.* (2013) adotaram uma escala de trabalho similar à esta pesquisa na qual foi mapeado um bairro do município de Manaus (AM) com 1.320 moradias. Os autores identificaram 47 setores de risco, dos quais 21 setores (45% do total de setores) apresentaram risco muito alto (R4) e 26 setores (55% do total de setores) com alto risco (R3).

Já em comparação aos resultados alcançados por Macedo *et al.* (2004), observa-se que os autores avaliaram 205 áreas e foram identificados 302 setores de risco em 96 comunidades distribuídas em seis subprefeituras do município de São Paulo com 28.300 moradias. Neste trabalho, foram apontados 16% de setores com risco R4, 27% de setores R3, 32% R2



Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo da Área C.

e 25% R1, portanto, um número acima dos resultados encontrados nesta pesquisa. O trabalho destes autores abrangeu um mapeamento de grande porte, que possibilitou o estabelecimento de soluções imediatas e de médio e longo prazo nas áreas mais críticas.

O trabalho desenvolvido por Mirandola, Macedo e Soares (2004) na comunidade Real Parque no município de São Paulo, resultou na identificação de quatro setores de risco, onde um setor (25%) apresenta grau de risco muito alto (R4), outro (25%)

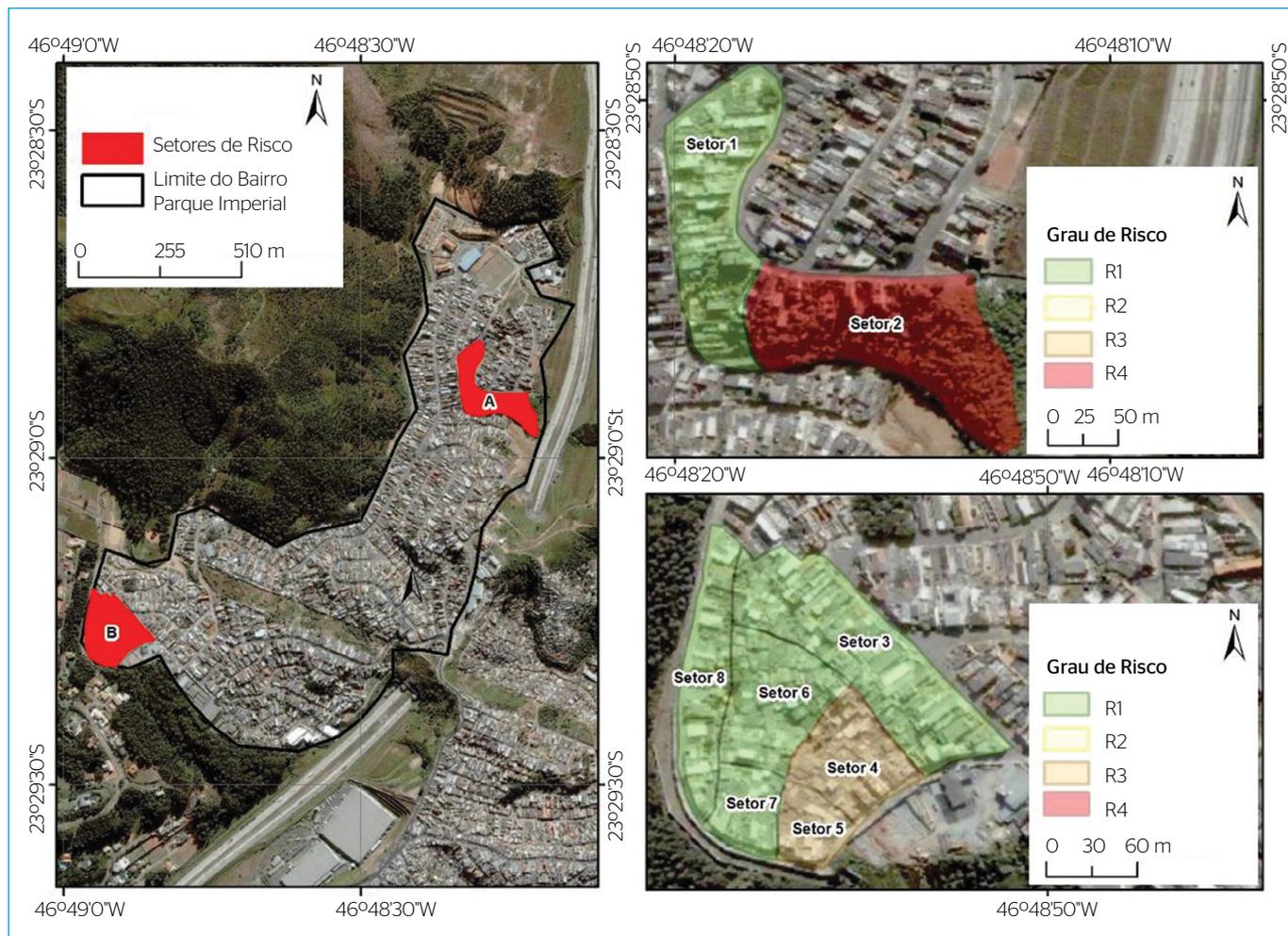


Figura 7 - Mapa de áreas de risco a escorregamentos do Parque Imperial.

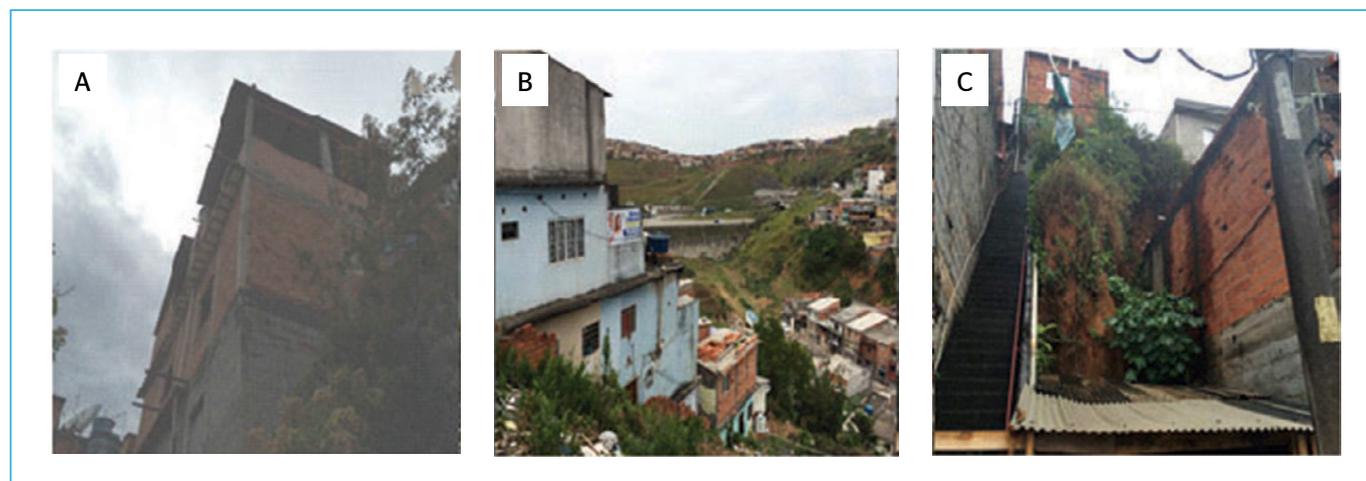


Figura 8 - (A) Paredes embarrigadas na construção; (B) Edificações instaladas muito próximas à encosta; (C) Cicatriz de escorregamento recente.

alto (R3), um (25%) médio (R2) e o último (25%) baixo (R1) — resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa. Neste trabalho, foram contabilizadas 785 moradias e sugeriu-se a remoção de 23 moradias.

Listo e Vieira (2012) avaliaram 14 setores de risco em uma bacia densamente urbanizada no município de São Paulo (Bacia do Rio Aricanduva), onde 6 (43%) foram classificados com risco muito alto (R4), 2 (14%) com risco alto (R3), outros 2 (14%) com médio (R2) e 4 (29%) foram

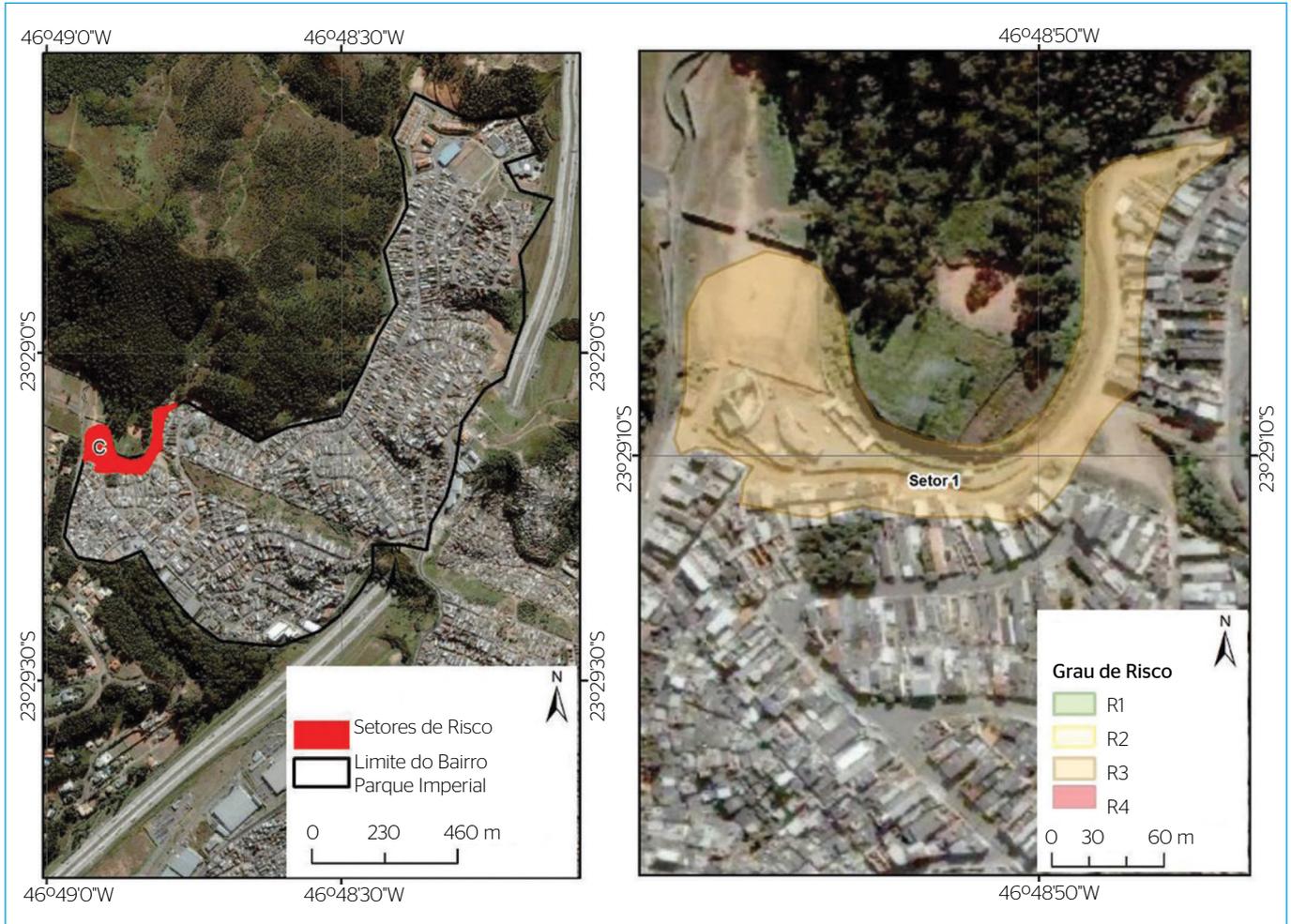


Figura 9 - Mapa de áreas de risco a inundação do Parque Imperial.

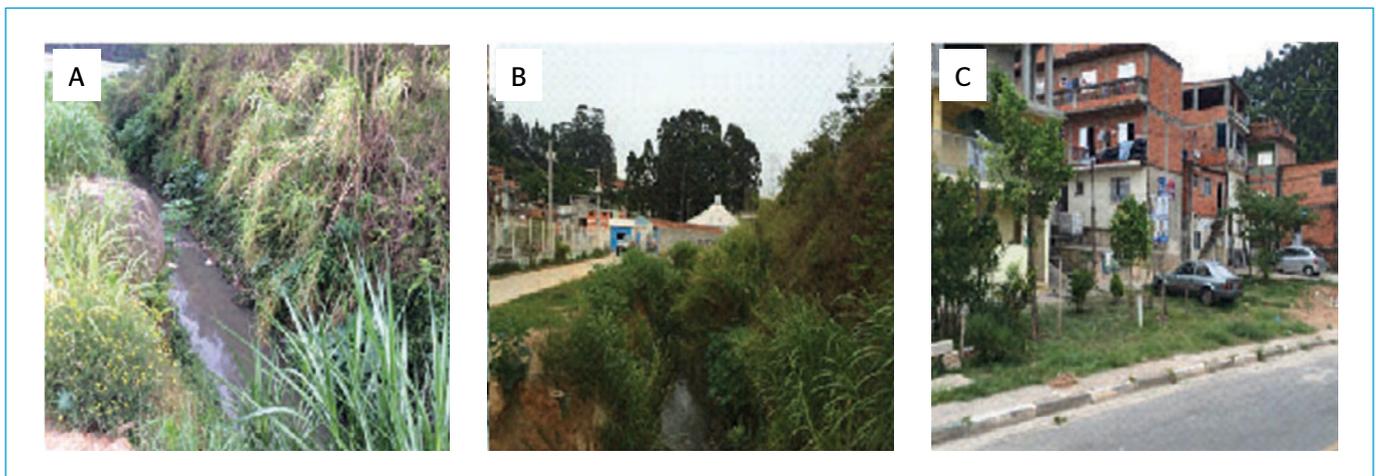


Figura 10 - (A) Canal assoreado no setor; (B) Solapamento de margem ocorrente; (C) Edificações muito próximas às margens do córrego.

classificados com risco baixo (R1), apresentando assim, resultados bem distintos. Também, foram contabilizadas 685 moradias e não foram solicitadas remoções imediatas de moradias. Do mesmo modo, a pesquisa destes autores permitiu a apresentação dos dados aos órgãos gestores, com vistas à tomada de decisões no sentido de gerenciar as áreas estudadas.

CONCLUSÕES

Avaliando-se as informações contidas no Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto no Meio Ambiente (EIA/RIMA) referentes ao surgimento do bairro constatou-se que o Parque Imperial originou-se em virtude do crescimento da região, por meio dos empreendimentos habitacionais de alto padrão, portanto, anteriores a implantação da rodovia. No entanto, durante e após a fase de implantação da rodovia, novas edificações passaram a surgir na região, o que culminou no crescimento do bairro e na ocupação de locais impróprios ao uso.

Com relação às intervenções propostas à implantação do empreendimento tem-se que o traçado procurou ocupar áreas vazias na região, com fins a não resultar em relevantes alterações do padrão da paisagem. No entanto, foi prevista a desapropriação de moradias de padrão popular, uma vez que estas poderiam ser atingidas pelas obras e se encontravam no trecho que hoje contempla a faixa de domínio da rodovia. Tais impactos foram caracterizados como impactos negativos, tendo em vista que o relevo mais acidentado provoca a multiplicação de grandes taludes de corte e aterro e a supressão de vegetação.

Contudo, foram propostas medidas mitigadoras, tais como a remoção das edificações em trechos nos quais era necessária intervenção, o

replanteio dos taludes efetuados, além da execução de projeto paisagístico na faixa de domínio. Os taludes de aterro receberam plantio de grama e as faixas de domínio e canteiros centrais receberam projeto paisagístico.

Em meados do ano de 2009, foram executados novos processos de desapropriação na região, em função dos escorregamentos ocorridos, no qual as edificações atingidas foram desmobilizadas e as famílias foram conduzidas para um empreendimento habitacional construído próximo ao bairro. Entretanto, algumas dessas áreas desapropriadas foram reocupadas por novos moradores, indicando assim, a necessidade de monitoramento e de fiscalização constante.

As áreas de risco promovem grandes perdas, tanto sociais quanto econômicas e ambientais, e, portanto, é necessária uma atuação preventiva que propicie à população que habita nestas regiões condições de conviver com esse risco, com o melhor índice de segurança possível. Portanto, o monitoramento destas áreas aliado a ações de prevenção e de planejamento urbano culminam na amenização da instabilidade presente nas encostas e nos fundos de vale. Dessa forma, os resultados dos mapeamentos apresentados nesta pesquisa poderão contribuir na melhor tomada de decisões quanto ao monitoramento de ocupações irregulares em áreas em áreas marginais a rodovias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos da Defesa Civil do Município de Barueri pelo acompanhamento nos trabalhos de campo, em especial, ao Classe Distinta (CD) Moisés Rocha. Agradecem à Universidade Anhembi Morumbi por meio de bolsa PIBIC e pelo apoio financeiro de parte desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.C.J. & FREITAS, C.G.L. (1996) Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 2, p. 195-200.
- ANDRETTA, E.R.; LADEIRA, L.F.B.; SANTOS, J.M.; LIMA, R.H.C. (2013) Mapeamento das áreas de risco no bairro Gilberto Mestrinho, zona leste de Manaus - AM. *Estudos Geológicos*, v. 23, n. 1, p. 3-11.
- AYALA, I.A. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, n. 47, p. 107-124.
- BANDEIRA, C. & FLORIANO, E.P. (2004) *Avaliação de impacto ambiental de rodovias*. 1ª edição. ANORGS, Santa Rosa.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015) *Dados históricos*. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 27 maio 2015.
- BRASIL. Ministério das Cidades; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007) *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília.
- CERRI, L.E.S. (1993) *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes*. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CERRI, L.E.S.; NOGUEIRA, F.R.; CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; AUGUSTO FILHO, O. (2007) Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP). *Geociências*, v. 26, n. 2, p. 143-150.
- DOUGLAS, I. (1983) *The urban environment*. Londres: Edward Arnold.
- ELLEMBERG, H. & MUELLER-DOMBOIS, D.A. (1965) *Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the earth*. Ber. Geobot. Inst. ETH, Zúrique.

- FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. (1986) *Landscape ecology*. Nova York: John Wiley & Sons.
- FUSP - Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo. (2009) *Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HART, M.G. (1986) *Geomorphology pure and applied*. Londres: Allen & Unwin.
- HOOKE, J.M. (1988) *Geomorphology in environmental planning*. Hampshire: John Wiley & Sons Ltd.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2013) *Relatório Técnico nº 131.405-205-63/122*. Publicações IPT, São Paulo.
- JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO. (2014) Favela com 7 mil barracos se forma às margens do Rodoanel. *Caderno São Paulo*. Disponível em: <<http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,favela-com-7-mil-barracos-se-forma-as-margens-do-rodoanel,1155638>> Acesso em: 15 mai. 2014.
- KOBYIAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONGLAVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOREL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. (2006) *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Editora Organic Trading.
- LABJOR UNICAMP. (2014) IBAMA considera trecho Sul do Rodoanel ambientalmente viável. *Seção Meio Ambiente*. Disponível em: <http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id_article=166> Acesso em: 15 mai. 2014.
- LISTO, F.L.R. & VIEIRA, B.C. (2012) Mapping risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. *Geomorphology*, v. 169-170, n. 2, p. 30-44.
- MACEDO, E.S.; CANIL, K.; GRAMANI, M.F.; ALMEIDA FILHO, G.S.; YOSHIKAWA, N.K.; MIRANDOLA, F.A.; VIEIRA, B.C.; BAIDA, L.M.A.; FILHO, O.A.; SHINOHARA, E.J. (2004) Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamento de margens do município de São Paulo - SP: o exemplo da favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã. *In Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, 1, p. 59-72. GEDN/UFSC, Florianópolis (CD-ROM).
- MIRANDOLA, F.A.; MACEDO, E.S.; SOARES, L. (2004) Zoneamento de risco geológico na área da favela Real Parque, São Paulo. *In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, 1, p. 297-311. GEDN/UFSC, Florianópolis (CD-ROM).
- NAIME, R. (2002) *Impacto ambiental em estradas - Impacto ambiental das obras civis*. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PANIZZA, M. (1987) Geomorphological hazard assessment and the analysis of geomorphological risk. *In: Gardiner, V. (ed.) International Geomorphology*, 1, 1986. John Wiley & Sons, London.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology Earth System Science*, 11, p. 1633-1644.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Economia e Planejamento. (2006) *Atlas de uso e ocupação do solo do município de Barueri*. São Paulo: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A - EMPLASA.
- SIMONETTI, H. (2010) *Estudo de impactos ambientais gerados pelas rodovias: sistematização do processo de elaboração de EIA/RIMA*. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28531?locale=pt_BR>. Acesso em: 15 abr. 2015.