

CORRELAÇÕES ENTRE RISCO, SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE A ESCORREGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

*CORRELATIONS BETWEEN RISK, SUSCEPTIBILITY AND VULNERABILITY TO LANDSLIDES
IN THE MUNICIPALITY OF SÃO PAULO*

LUCAS HENRIQUE SANDRE

Geólogo – lucashsandre@hotmail.com

ALFREDO BORGES DE CAMPOS

*Geólogo, Professor Doutor – Universidade Estadual de Campinas
– Campinas, SP – Brasil – acampos@ige.unicamp.br*

EDUARDO SOARES DE MACEDO

*Geólogo, Professor Doutor – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo – São Paulo, SP – Brasil – esmacedo@ipt.br*

RESUMO ABSTRACT

A dificuldade de acesso à moradia nos centros urbanos brasileiros direciona a população mais pobre para a periferia das cidades. Consequentemente, terrenos em encostas íngremes ou em margens de rios acabam sendo ocupados e de maneira precária. A Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), realizou, entre 2009 e 2010, um mapeamento de riscos associados a escorregamentos em áreas de encostas e solapamentos de margens de córregos, com o intuito de gerenciar o risco de movimentos de massa na cidade. O presente trabalho utilizou dados deste mapeamento e fez o cruzamento em ambiente SIG com dados referentes a mapeamentos de suscetibilidade, vulnerabilidade social e vulnerabilidade física do município de São Paulo. A análise após este procedimento permitiu identificar uma correlação positiva entre o grau de risco determinado no mapeamento para os setores e a suscetibilidade, vulnerabilidade social e vulnerabilidade física das áreas.

Palavras-chave: Área de Risco; Risco Geológico; Suscetibilidade; Vulnerabilidade; São Paulo

The difficulty of access to housing in Brazilian urban centers drives the poorest population to the periphery of cities. Consequently, land located on steep slopes or riverbanks ends up being precariously occupied. The Municipal Government of São Paulo, through the Institute of Technological Research of the State of São Paulo (IPT), carried out, between 2009 and 2010, a mapping of risks associated with landslides in areas of slopes and riverbanks, in order to manage the risk of mass movements in the city. The present work used data from this mapping and made the crossing of these data in GIS environment with data referring to mappings of susceptibility, social vulnerability and physical vulnerability of the city of São Paulo. The analysis after this procedure allowed to identify a positive correlation between the degree of risk determined in the mapping for the sectors and the susceptibility, social vulnerability and physical vulnerability of the areas.

Keywords: Risk Area; Geological Risk; Susceptibility; Vulnerability; São Paulo

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a dificuldade de acesso à moradia nos centros urbanos faz com que a população mais pobre se direcione para a periferia das cidades. Neste cenário, áreas de encostas ou margens de rios são ocupadas de forma precária. A precariedade da ocupação, representada por taludes de corte íngremes, aterros instáveis, ausência de redes de abastecimento de água e coleta de esgoto, por exemplo, faz com que surjam áreas de risco que, à medida que ocorram períodos de chuvas mais intensas, se tornem palco de graves acidentes. Nesse contexto, os escorregamentos são os acidentes naturais que mais matam no país (Macedo & Mirandola 2018).

Na publicação feita pela UNDRR (2009), acerca da terminologia utilizada em redução de desastres, o risco é definido como a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências negativas. Em outras palavras, de acordo com Macedo & Mirandola (2018), o risco geológico (R) pode ser interpretado como a relação entre a probabilidade (P) de ocorrência do acidente associado a um processo geológico, podendo ser induzido, ou não, pelo Homem, e as consequências (C) sociais e/ou econômicas potenciais associadas à ocorrência do acidente. De forma simplificada, o risco pode ser expresso pela relação $R \sim P \times C$.

A fim de gerenciar o risco de movimentos de massa no município de São Paulo, a Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), realizou, entre 2009 e 2010, um mapeamento de riscos associados a escorregamentos em áreas de encostas e solapamentos de margens de córregos (IPT, 2010). Neste mapeamento foram identificados 1179 setores de risco, localizados em 26 subprefeituras do município. Nestes setores foram determinados o grau de risco (R1 – baixo, R2 – médio, R3 – alto, ou R4 – muito alto) e o processo geológico ao qual estavam sujeitos (escorregamento e/ou solapamento de margem).

Aprofundar o conhecimento acerca das causas e consequências dos escorregamentos pode subsidiar ações que proporcionem a mitigação do risco de perdas, de modo que, se não erradicado, pelo menos o convívio com o mesmo se torne possível.

De acordo com Santos (2015), para a ocorrência de um desastre, é preciso, primeiramente, um ambiente suscetível à manifestação de um fenômeno natural com possibilidades de deflagrar uma situação de crise. Em segundo lugar, é preciso haver um contexto vulnerável, onde a sociedade não apresente capacidade adequada de resposta a essa situação.

Nesse cenário, um maior entendimento de como cada grau de risco está caracterizado quanto à suscetibilidade e vulnerabilidade se mostra relevante, pois este entendimento pode servir como ferramenta de suporte na determinação do grau de risco de um setor, proporcionando bases ainda mais sólidas para a tomada de decisões quanto ao problema.

Macedo & Bressani (2013) definem suscetibilidade a escorregamentos como uma avaliação quantitativa ou qualitativa do tipo, do volume ou da área, e da distribuição espacial dos escorregamentos que existem ou possam potencialmente ocorrer em uma área. Segundo Bitar (2014), suscetibilidade refere-se à predisposição ou propensão dos terrenos estarem sujeitos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico. Em relação à vulnerabilidade, de acordo com Ministério das Cidades & IPT (2007), ela pode ser entendida como o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área sujeita a um fenômeno ou processo. Macedo & Bressani (2013) descrevem a vulnerabilidade como o grau de perda de um dado elemento ou grupo de elementos em uma área afetada pelos perigos do escorregamento, sendo expresso através de uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). A publicação da UNDRR (2016), que atualiza algumas terminologias no tema de redução de desastres, define vulnerabilidade como as condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, comunidade, ativos ou sistemas aos impactos de riscos.

Este estudo apresenta uma caracterização dos setores de risco de escorregamentos mapeados no município de São Paulo quanto à suscetibilidade e vulnerabilidade, tanto social quanto física, utilizando para isso dados do mapeamento de áreas de risco realizado pelo IPT (IPT, 2010), dados do mapeamento de suscetibilidade também

realizado pelo IPT (IPT, 2015) e dados do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social realizado pela Fundação Seade (Seade, 2013a). O objetivo foi determinar se há uma correlação entre cada um desses atributos da área e o grau de risco atribuído no mapeamento de áreas de risco.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão detalhados os materiais utilizados na elaboração do trabalho, sendo eles a carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de São Paulo (IPT, 2015), o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010 (Seade, 2013a) e o mapeamento de áreas de risco de São Paulo (IPT, 2010); e os métodos adotados para tratar e processar todos esses dados, explicitando as etapas empregadas no geoprocessamento.

2.1 Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de São Paulo

A carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de São Paulo utilizada para este trabalho foi elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2015), e está representada pela figura 1. Para o município, a classe de suscetibilidade alta a processos de escorregamento, queda de rocha e rastejo foi definida como áreas de relevo de morrotes baixos, morrotes altos e serras, forma de encostas retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos, amplitudes de 80 a 340 m e declividades maiores que 25°. A litologia é composta por migmatitos, gnaisses graníticos e gnaisses miloníticos, com densidade de lineamentos/estruturas alta. Os solos apresentam-se pouco evoluídos e rasos. Tais áreas representam 100,1 km², correspondendo a 6,6% da área total do município.

A classe de suscetibilidade média a processos de escorregamento, queda de rocha e rastejo foi

definida como áreas de relevo de morros baixos, morrotes e morrotes altos, forma de encostas convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem, amplitudes de 20 a 180 m e declividades de 10 a 30°. A litologia é composta por migmatitos, gnaisses graníticos, gnaisses miloníticos, micaxisto e/ou meta-arenito e xistos miloníticos, com densidade de lineamentos/estruturas média. Os solos apresentam-se evoluídos e moderadamente profundos. Tais áreas representam 231,2 km², correspondendo a 15,1% da área total do município.

A classe de suscetibilidade baixa a processos de escorregamento, queda de rocha e rastejo foi definida como áreas de relevo de planícies e terraços fluviais, morrotes e colinas, forma de encostas convexas suavizadas e topos amplos, amplitudes maiores que 80 m e declividades menores que 15°. A litologia é composta por aluviões fluviais, argilas, areias e cascalhos, com densidade de lineamentos/estruturas baixa. Os solos são aluviais, ou evoluídos e profundos nas colinas e morrotes. Tais áreas representam 1196,2 km², correspondendo a 78,3% da área total do município.

As zonas apontadas na carta indicam áreas de predominância quanto ao processo analisado, sem determinar a trajetória e o raio de alcance dos materiais mobilizáveis nem a interação entre os processos. A classificação relativa (alta, média, baixa) aponta áreas onde a propensão ao processo é maior ou menor em comparação às outras. Dentro das zonas pode haver áreas com classes distintas, mas sua identificação não é possível devido à escala da carta (1:25000), e a transição entre as classes tende a se apresentar de modo mais gradual no campo. Em tempo, a suscetibilidade baixa não significa que os processos não poderão ocorrer em seu domínio, pois a dinâmica pode ser alterada devido às atividades humanas (Bitar, 2014).

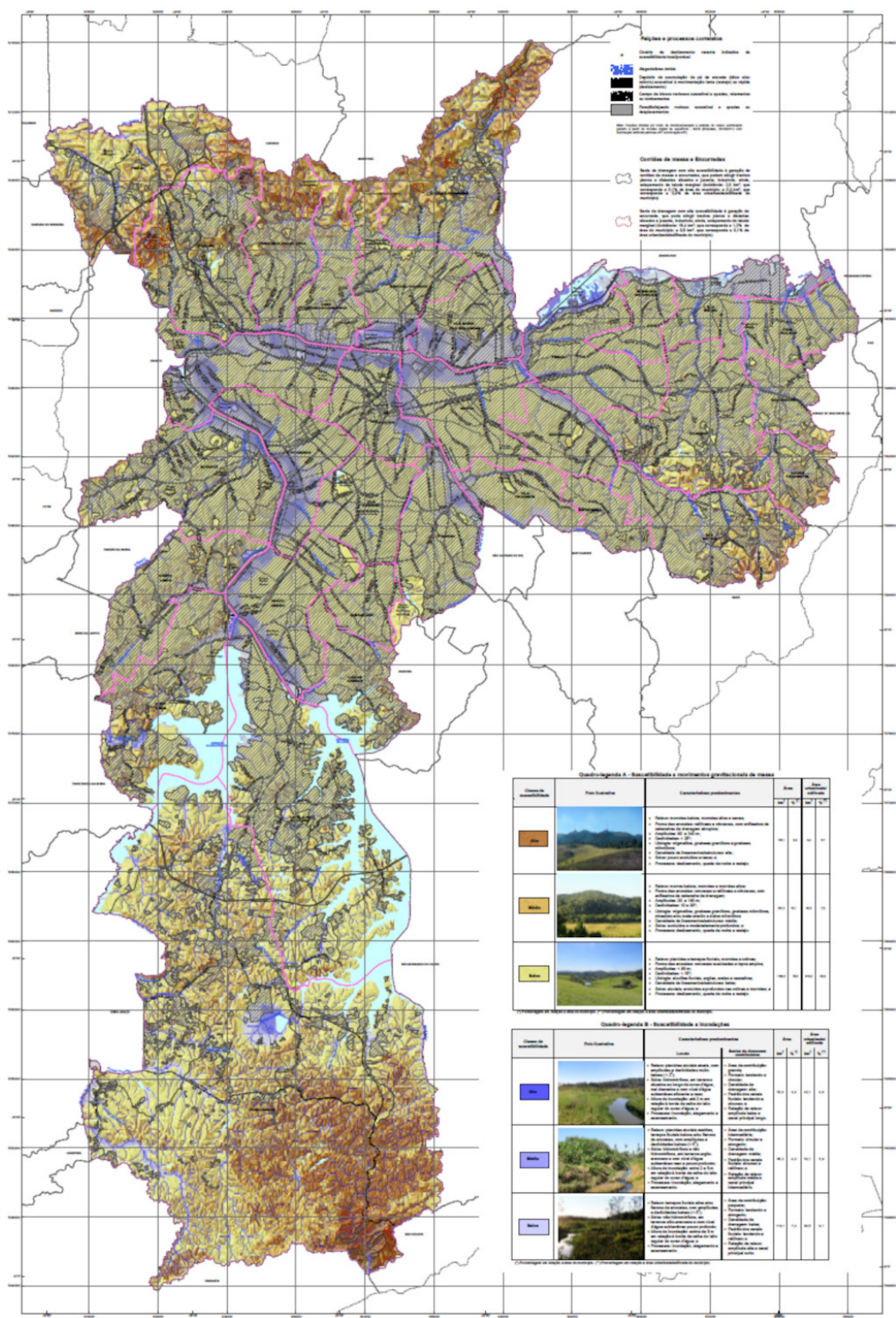


Figura 1. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações do município de São Paulo. Fonte: Retirado de IPT (2015).

2.2 Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010

O Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010, ou IPVS 2010, elaborado pela Fundação Seade (Seade, 2013a) fornece a localização das áreas que abrigam os segmentos populacionais

mais vulneráveis dentro de cada município paulista. Entre os 66096 setores censitários do Censo Demográfico 2010 para o Estado de São Paulo, o IPVS 2010 classificou 59773 em um dos sete grupos de vulnerabilidade social, como mostrado na figura 2.

Grupos	Dimensões		IPVS 2010	Situação e tipo de setores por grupo
	Socioeconômica	Demográfica		
1	Muito alta	Famílias jovens, adultas e idosas	Baixíssima vulnerabilidade	Urbanos e rurais não especiais e subnormais
2	Média	Famílias adultas e idosas	Vulnerabilidade muito baixa	Urbanos e rurais não especiais e subnormais
3	Média	Famílias jovens	Vulnerabilidade baixa	Urbanos e rurais não especiais e subnormais
4	Baixa	Famílias adultas e idosas	Vulnerabilidade média	Urbanos não especiais e subnormais
5	Baixa	Famílias jovens em setores urbanos	Vulnerabilidade alta	Urbanos não especiais
6	Baixa	Famílias jovens residentes em aglomerados subnormais	Vulnerabilidade muito alta	Urbanos subnormais
7	Baixa	Famílias idosas, adultas e jovens em setores rurais	Vulnerabilidade alta	Rurais

Figura 2. Sete grupos de vulnerabilidade social classificados pelo IPVS 2010, de acordo com as condições socioeconômicas e demográficas da população do estado.

Fonte: Retirado de Seade (2013a).

Todos os 59.773 setores possuem pelo menos 50 domicílios particulares permanentes (Seade, 2013b). Dentre esses setores, 56.773 estão localizados em áreas urbanas e 3.224 em áreas rurais, abrangendo um total de 40.545.968 habitantes.

Na cidade de São Paulo, os setores censitários rurais do município foram considerados urbanos para classificação nos grupos. Em 2010, 70% da população residia em áreas de baixíssima, muito baixa ou de baixa vulnerabilidade social, equivalendo a aproximadamente 7,8 milhões de pessoas. Desse conjunto, aproximadamente 1,5 milhão de

pessoas residia em áreas de baixíssima vulnerabilidade (Grupo 1), 4,4 milhões residiam em áreas de vulnerabilidade muito baixa (Grupo 2), e 1,9 milhão residiam em áreas de vulnerabilidade baixa (Grupo 3). Já 16,4% da população paulistana residia em áreas de vulnerabilidade alta ou muito alta, equivalendo a 1,8 milhão de pessoas. Desse conjunto, aproximadamente 992 mil pessoas residiam em áreas de vulnerabilidade alta (Grupo 5), e 836 mil residiam em áreas de vulnerabilidade muito alta (Grupo 6). Ainda havia aproximadamente 1,5 milhão de pessoas residindo em áreas

de vulnerabilidade média (Grupo 4). As figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a parcela da popu-

lação em cada um dos grupos de vulnerabilidade social do IPVS 2010 e suas distribuições espaciais.

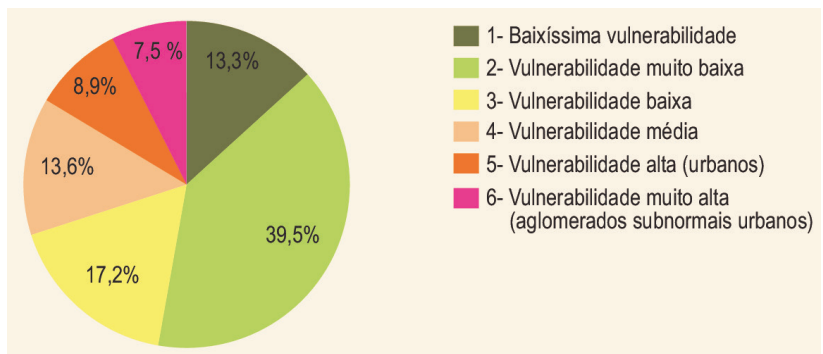


Figura 3. Distribuição da população no município de São Paulo, segundo grupos do IPVS 2010. Cerca de 16,4% da população paulistana estava em condição de alta ou muito alta vulnerabilidade social.

Fonte: Retirado de SEADE (2013a).

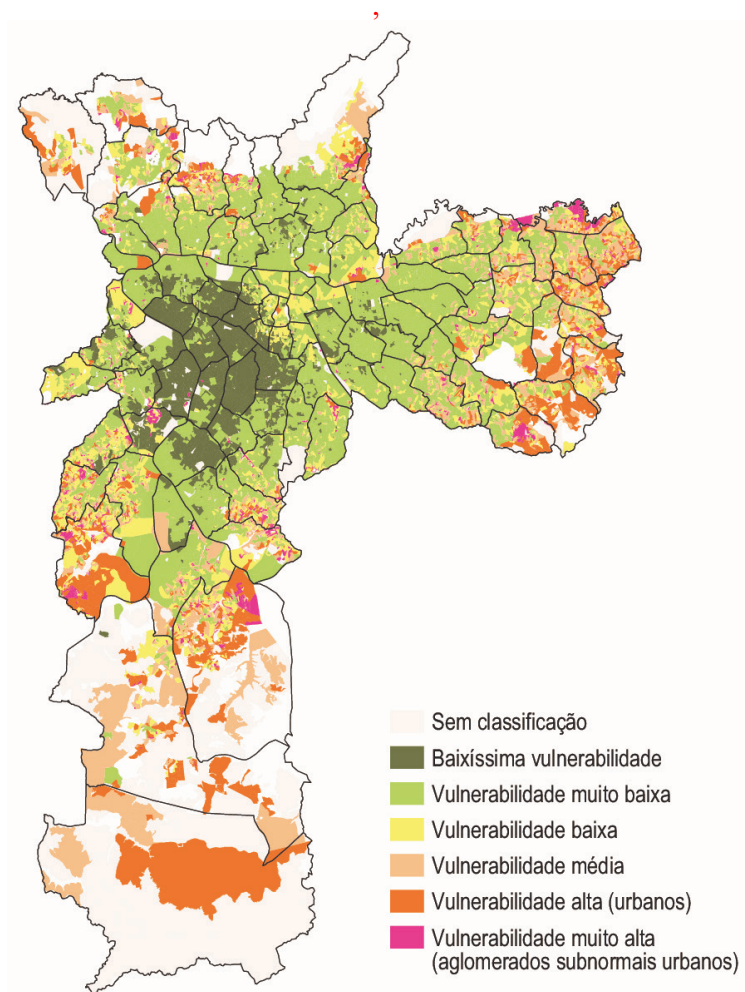


Figura 4. Distribuição espacial dos grupos de vulnerabilidade social classificados pelo IPVS 2010 no município de São Paulo. Nota-se uma menor vulnerabilidade social no centro e uma maior vulnerabilidade social na periferia da cidade.

Fonte: Retirado de SEADE (2013a).

2.3 Mapeamento de áreas de risco de São Paulo

Entre 2009 e 2010, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo elaborou, na cidade de São Paulo, um mapeamento de riscos associados a escorregamentos em áreas de encostas e solapamentos de margens de córregos (IPT, 2010). O trabalho envolveu a reavaliação das áreas mapeadas em anos anteriores, bem como a avaliação de novas áreas de risco geológico na cidade. O mapeamento teve seu foco voltado para áreas onde a vulnerabilidade da população era mais alta, visto que nesses locais qualquer tipo de evento, mesmo de pequena magnitude, poderia causar danos significativos para a comunidade.

A metodologia de trabalho empregada foi a do Ministério das Cidades & IPT (2007), que utilizou alguns atributos para identificar o grau de risco dos diferentes setores. A probabilidade da ocorrência dos fenômenos foi inferida através da identificação e análise das feições e características do terreno, indicando o grau de suscetibilidade da área, seja natural e/ou induzida pela maneira de uso e ocupação do solo. A vulnerabilidade dos assentamentos foi determinada a partir da qualidade construtiva das moradias, para isso foi analisado o tipo de material utilizado (madeira, alvenaria ou misto), assim como a capacidade das habitações de sofrer danos em casos de escorregamentos. Por fim, a consequência do fenômeno foi medida, através do número de habitações que seriam atingidas caso ocorresse um escorregamento.

Por meio desta metodologia, foram mapeadas 407 áreas em todo município, compreendendo cerca de 13,5 km², o que corresponde a 0,9% da área total da cidade. O trabalho incluiu áreas situadas em 26 subprefeituras e dentre as 407 áreas mapeadas, 176 estavam localizadas na zona sul, 107 na zona norte, 100 na zona leste e 24 na zona oeste.

Dentro das 407 áreas, 1179 setores de risco foram identificados, sendo 735 (62%) relativos a áreas de risco de escorregamentos e 444 (38%) a solapamentos em margem de córrego. Foram classificados 152 (13%) setores em baixo risco, 425 (36%) setores em risco médio, 443 (38%) setores em alto risco e 159 (13%) setores em risco muito alto. O mapeamento também identificou, pon-

tualmente, 1132 moradias que se encontravam em situação de risco iminente. A figura 5 exemplifica uma das áreas mapeadas com seus respectivos setores.



Figura 5. Exemplo de área e setores de risco identificados no mapeamento do IPT. A linha vermelha representa o limite da área, enquanto as linhas amarelas representam o limite de cada um dos setores.

Fonte: Retirado de IPT (2010).

2.4 Geoprocessamento

Inicialmente foi realizada a análise dos dados do levantamento dos setores de risco de escorregamento e solapamento de margem do município de São Paulo. Os dados dos setores de risco foram obtidos em arquivos shapefile, que continham na tabela de atributos várias informações, como o grau de risco e o processo geológico atuante, por exemplo.

A primeira etapa consistiu em refinar os dados, retirando da análise os setores em que dominavam os processos de solapamento de margem, já que não foram o foco desta pesquisa. Após este refinamento, realizou-se o cruzamento com os arquivos shapefile da carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de São Paulo, do IPVS 2010 e com as informações de vulnerabilidade física. Estas últimas foram obtidas através das informações adquiridas no próprio mapeamento das áreas de risco realizado pelo IPT, em que o tipo de construção predominante no setor de risco era classificado de três formas possíveis: alvenaria, madeira ou misto, ou seja, quando havia tanto moradias de alvenaria quanto de madeira, tal setor apresentava tipo predominantemente

misto de construção. No presente estudo, para cada um destes três tipos possíveis de construção foi atribuído um grau equivalente de vulnerabilidade física, a saber: madeira - vulnerabilidade física alta, mista - vulnerabilidade física média, e alvenaria - vulnerabilidade física baixa.

O cruzamento dos dados foi realizado por meio da ferramenta "Intersect" do software ArcGIS 10.6. A ferramenta calcula a interseção geométrica das camadas inseridas como input. As feições, ou parte delas, que são comuns a todas (ou seja, que se cruzam) são gravadas como uma nova camada e obtidas como output, como exemplificado na figura 6. As informações contidas nas tabelas de atributos de cada uma das camadas são transportadas para a camada resultante do procedimento.

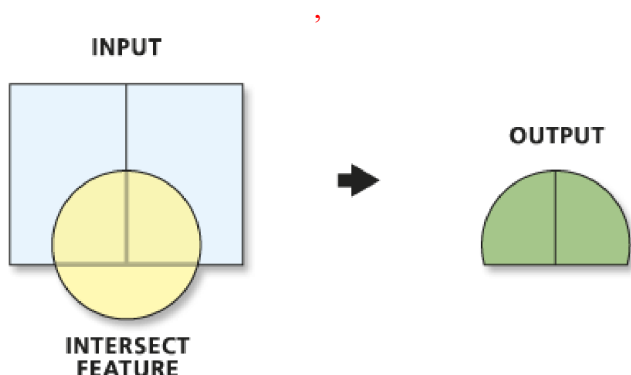


Figura 6. Exemplo de intersecção entre shapefiles. O resultado da intersecção entre as camadas azul e amarela (input) é a camada verde (output), feição presente nas duas camadas do input.

Fonte: Retirado de ArcGIS 10.6 Help.

O resultado do cruzamento de todos esses dados foi uma série de polígonos, cada qual contendo suas informações quanto ao grau de risco, vulnerabilidade física, vulnerabilidade social e suscetibilidade naquela porção de terreno, como mostrado na figura 7. Dentro do ambiente SIG, ainda foi possível calcular a área, em metros quadrados, de cada um dos polígonos.

Após o cálculo da área dos polígonos, todos os dados foram transportados para o software Microsoft Excel. Calculou-se então, quanto, por exemplo, representava percentualmente uma área de suscetibilidade alta em um terreno de grau de risco médio, ou uma área de vulnerabilidade social muito baixa em um terreno de grau de risco muito alto, e assim por diante. Para a situação do primeiro exemplo, somavam-se todas as áreas correspondentes à suscetibilidade alta dentro dos terrenos de grau de risco médio, e depois se calculava quanto esse valor representava, em porcentagem, em todo o terreno definido como de grau de risco médio, também somado previamente.

Através dessa metodologia, foi possível caracterizar cada grau de risco quanto à suscetibilidade, vulnerabilidade social e vulnerabilidade física no município de São Paulo. Metodologia similar foi utilizada por Martins & Macedo (2018), a qual também utilizou de geoprocessamento para caracterização das áreas de risco do município de São Paulo, cruzando os dados do levantamento realizado pelo IPT com dados de litotipos, feições estruturais e declividade do terreno.

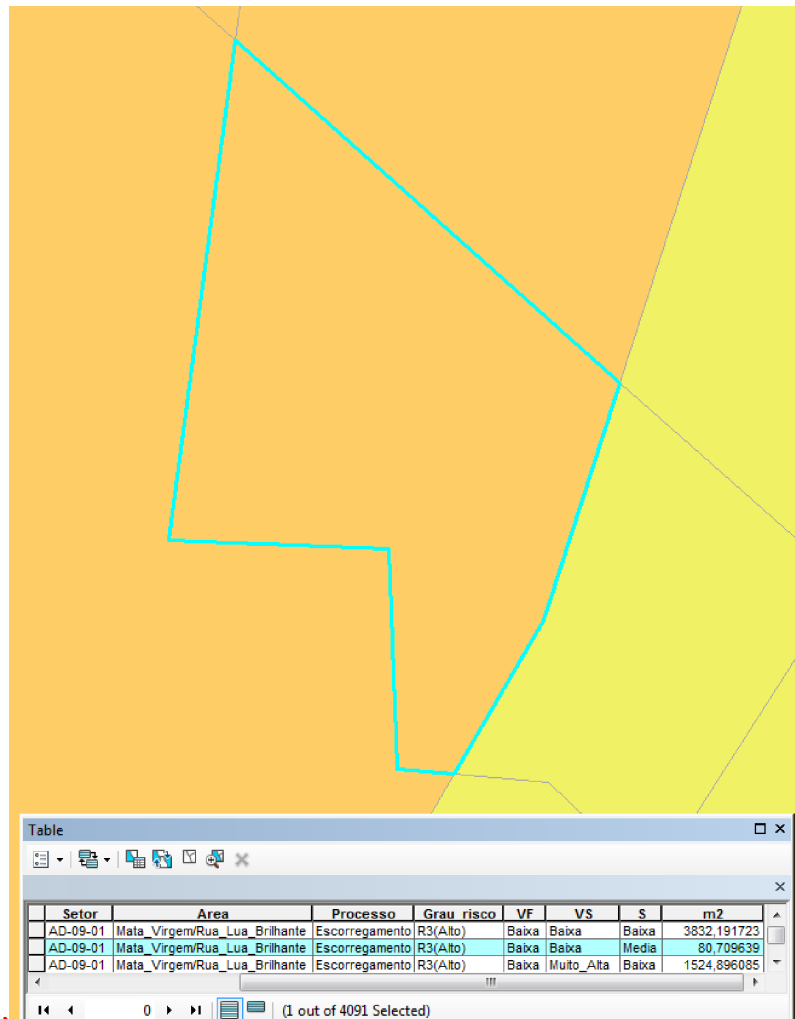


Figura 7. Exemplo de um polígono gerado através da ferramenta “Intersect”. A cor laranja representa o grau de risco alto e a amarela o médio, enquanto na tabela de atributos (Table), VF, VS, S e m2 correspondem, respectivamente, à vulnerabilidade física, vulnerabilidade social, suscetibilidade e área do polígono em metros quadrados.

Fonte: Acervo do autor.

3 RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos após a aplicação da metodologia utilizada.

3.1 Caracterização dos setores com grau de risco baixo (R1)

Os setores classificados com grau de risco baixo para escorregamentos somam 1,04 km², correspondendo a 9,86% do total de áreas mapeadas para este processo.

Nestes terrenos, a suscetibilidade a escorregamentos se mostrou majoritariamente baixa,

compondo 65,23% da área total destes setores, ou 0,68 km². A suscetibilidade média compõe 28,28% destes terrenos, ou 0,29 km², enquanto a suscetibilidade alta aparece em 6,49% destas áreas, ou 0,07 km², como mostrado na figura 8.

A vulnerabilidade social mostrou-se predominantemente muito alta, característica atribuída a 37% deste território. Na sequência, a vulnerabilidade média é vista em 22,39%, a alta em 18,96%, a baixa em 14,05%, e a muito baixa em 4,84% destas áreas. Em 2,75% de todo o terreno classificado como R1 não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade social. Os valores das quatro categorias mais presentes encontram-se expostos na figura 9.

Quanto à vulnerabilidade física, 92,67% dos setores R1 apresentavam edificações em alvenaria, conferindo uma baixa vulnerabilidade física a esses lugares. Em 4,28% dos setores o tipo predominante de construção era misto, resultando numa vulnerabilidade física média, enquanto 0,21% dos setores apresentavam vulnerabilidade física alta, por serem constituídos majoritariamente de edificações em madeira. Em 2,85% de todo o território classificado como de grau de risco baixo não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade física. A figura 10 representa todos esses valores.

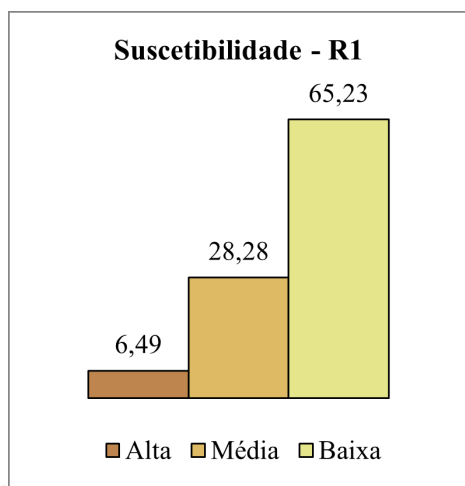


Figura 8. Representação em porcentagem das categorias de suscetibilidade encontradas nos setores de grau de risco baixo, que somam 1,04 km². Predomínio de suscetibilidade baixa.

Fonte: Acervo do autor.

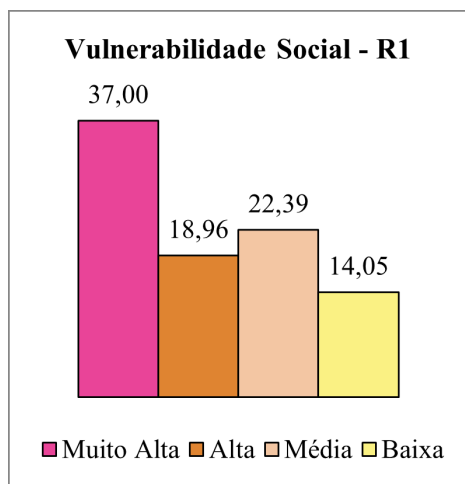


Figura 9. Representação em porcentagem das categorias mais presentes de vulnerabilidade social encontradas nos setores de grau de risco baixo, que somam 1,04 km². Predomínio de vulnerabilidade social muito alta.

Fonte: Acervo do autor.

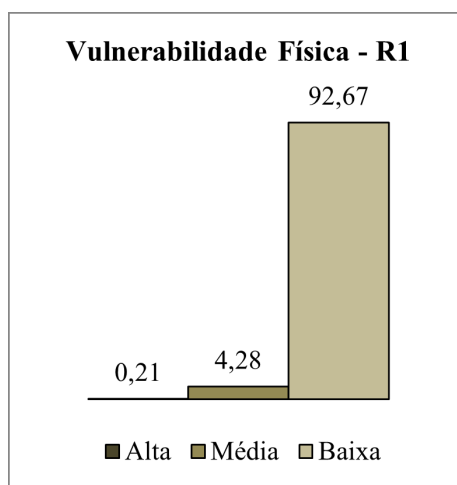


Figura 10. Representação em porcentagem das categorias de vulnerabilidade física encontradas nos setores de grau de risco baixo, que somam 1,04 km². Predomínio de vulnerabilidade física baixa.

Fonte: Acervo do autor.

3.2 Caracterização dos setores com grau de risco médio (R2)

Os setores classificados com grau de risco médio para escorregamentos somam, aproximadamente, 6,92 km², correspondendo a 65,83% do total de áreas mapeadas para este processo.

Nestes terrenos, a suscetibilidade a escorregamentos se mostrou majoritariamente média, compondo 46,55% da área total destes setores, ou 3,22 km². A suscetibilidade baixa compõe 39,73% destes terrenos, ou 2,75 km², enquanto a suscetibilidade alta aparece em 13,71% destas áreas, ou em 0,95 km², como mostrado na figura 11.

A vulnerabilidade social mostrou-se predominantemente muito alta, característica atribuída a 36,34% deste território. Na sequência, a vulnerabilidade alta é vista em 21,37%, a baixa em 18,74%, a média em 17,33%, a muito baixa em 2,32%, e a baixíssima em 0,28% destas áreas. Em 3,62% de todo o terreno classificado como R2 não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade social. Os valores das quatro categorias mais presentes encontram-se expostos na figura 12.

Quanto à vulnerabilidade física, 89,54% dos setores R2 apresentavam edificações em alvenaria, conferindo uma baixa vulnerabilidade física a esses lugares. Em 8,12% dos setores o tipo predominante de construção era misto, resultando

numa vulnerabilidade física média, enquanto 0,60% dos setores apresentavam vulnerabilidade física alta, por serem constituídos majoritariamente de edificações em madeira. Em 1,74% de todo o território classificado como de grau de risco médio não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade física. A figura 13 representa todos esses valores.

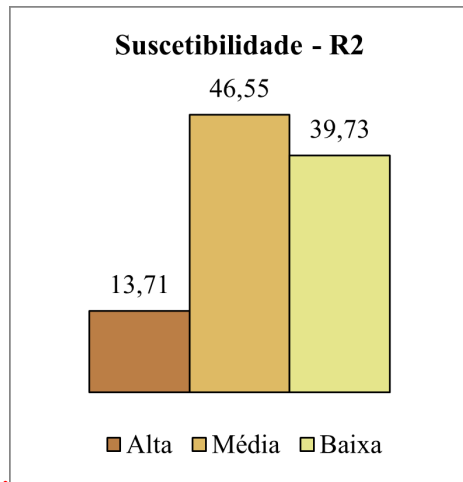


Figura 11. Representação em porcentagem das categorias de suscetibilidade encontradas nos setores de grau de risco médio, que somam 6,92 km². Predomínio de suscetibilidade média.

Fonte: Acervo do autor.

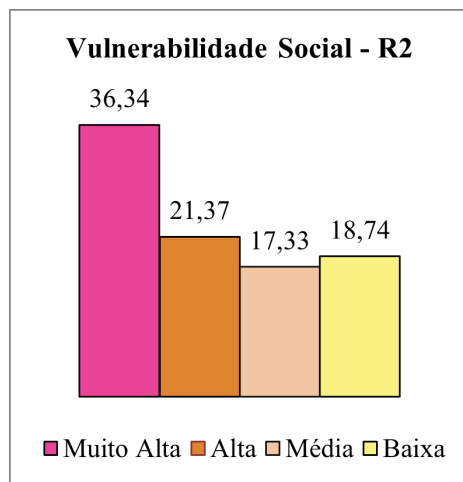


Figura 12. Representação em porcentagem das categorias mais presentes de vulnerabilidade social encontradas nos setores de grau de risco médio, que somam 6,92 km². Predomínio de vulnerabilidade social muito alta.

Fonte: Acervo do autor.

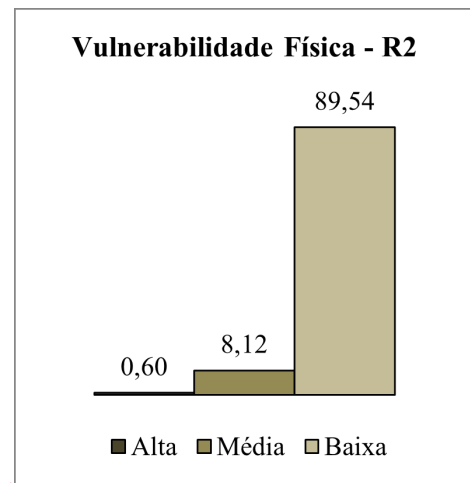


Figura 13. Representação em porcentagem das categorias de vulnerabilidade física encontradas nos setores de grau de risco médio, que somam 6,92 km². Predomínio de vulnerabilidade física baixa.

Fonte: Acervo do autor.

3.3 Caracterização dos setores com grau de risco alto (R3)

Os setores classificados com grau de risco alto para escorregamentos somam, aproximadamente, 1,80 km², correspondendo a 17,17% do total de áreas mapeadas para este processo.

Nestes terrenos, a suscetibilidade a escorregamentos se mostrou majoritariamente média, compondo 48% da área total destes setores, ou 0,87 km². A suscetibilidade alta compõe 26,93% destes terrenos, ou 0,49 km², enquanto a suscetibilidade baixa aparece em 25,07% destas áreas, ou em 0,45 km², como mostrado na figura 14.

A vulnerabilidade social mostrou-se predominantemente muito alta, característica atribuída a 36,31% deste território. Na sequência, a vulnerabilidade alta é vista em 29,17%, a média em 14,51%, a baixa em 14,47%, a muito baixa em 2,46%, e a baixíssima em 0,13% destas áreas. Em 2,94% de todo o terreno classificado como R3 não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade social. Os valores das quatro categorias mais presentes encontram-se expostos na figura 15.

Quanto à vulnerabilidade física, 82,79% dos setores R3 apresentavam edificações em alvenaria, conferindo uma baixa vulnerabilidade física a esses lugares. Em 14,87% dos setores o tipo predominante de construção era misto, resultando numa vulnerabilidade física média, enquanto 1,54% dos setores apresentavam vulnerabilidade física alta, por serem constituídos majoritariamente de edificações em madeira. Em 0,80% de todo o território classificado como de grau de risco alto não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade física. A figura 16 representa todos esses valores.

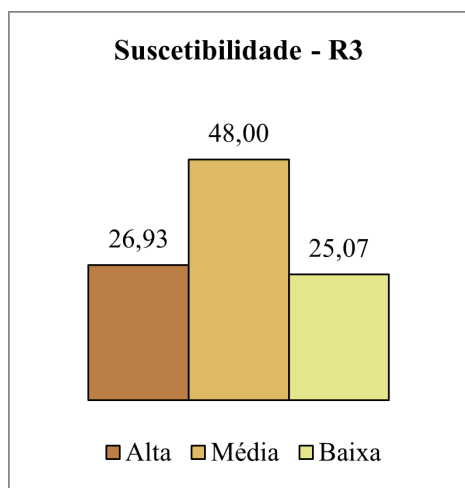


Figura 14. Representação em porcentagem das categorias de suscetibilidade encontradas nos setores de grau de risco alto, que somam 1,80 km². Predomínio de suscetibilidade média.

Fonte: Acervo do autor.

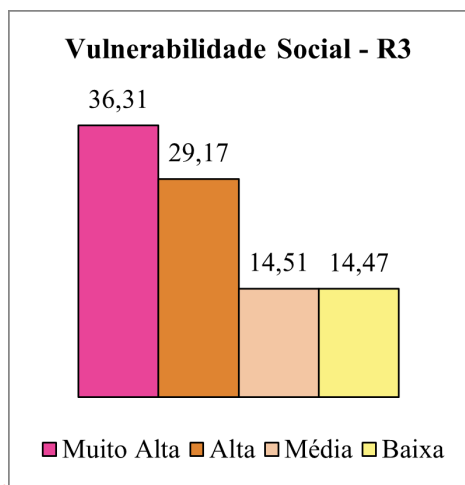


Figura 15. Representação em porcentagem das categorias mais presentes de vulnerabilidade social encontradas nos setores de grau de risco alto, que somam 1,80 km². Predomínio de vulnerabilidade social muito alta.

Fonte: Acervo do autor.

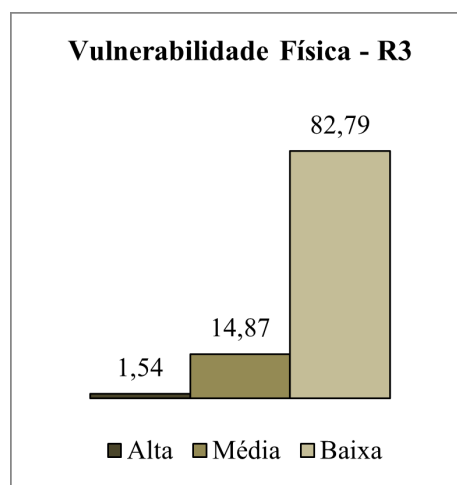


Figura 16. Representação em porcentagem das categorias de vulnerabilidade física encontradas nos setores de grau de risco alto, que somam 1,80 km². Predomínio de vulnerabilidade física baixa.

Fonte: Acervo do autor.

3.4 Caracterização dos setores com grau de risco muito alto (R4)

Os setores classificados com grau de risco muito alto para escorregamentos somam, aproximadamente, 0,75 km², correspondendo a 7,14% do total de áreas mapeadas para este processo.

Nestes terrenos, a suscetibilidade a escorregamentos se mostrou majoritariamente alta, compondo 54,86% da área total destes setores, ou 0,41 km². A suscetibilidade média compõe 27,78% destes terrenos, ou 0,21 km², enquanto a suscetibilidade baixa aparece em 17,36% destas áreas, ou em 0,13 km², como mostrado na figura 17.

A vulnerabilidade social mostrou-se predominantemente alta, característica atribuída a 46,80% deste território. Na sequência, a vulnerabilidade muito alta é vista em 36,56%, a baixa em 8,17%, a média em 6,55%, e a muito baixa em 0,79% destas áreas. Em 1,14% de todo o terreno classificado como R4 não foi possível realizar uma caracterização devido à falta de dados quanto à vulnerabilidade social. Os valores das quatro categorias mais presentes encontram-se expostos na figura 18.

Quanto à vulnerabilidade física, 55,33% dos setores R4 apresentavam tipo predominante de construção mista, conferindo uma vulnerabilidade física média a esses lugares. Em 38,73% dos setores o tipo predominante de construção era alvenaria, resultando numa vulnerabilidade física baixa, enquanto 5,94% dos setores apresentavam vulnerabilidade física alta, por serem constituídos majoritariamente de edificações em madeira. A figura 19 representa todos esses valores.

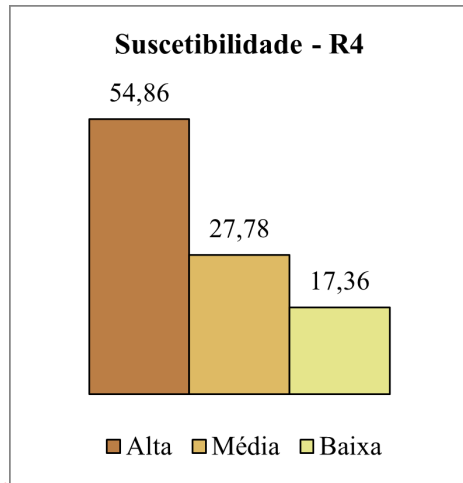


Figura 17. Representação em porcentagem das categorias de suscetibilidade encontradas nos setores de grau de risco muito alto, que somam 0,75 km². Predomínio de suscetibilidade alta.

Fonte: Acervo do autor.

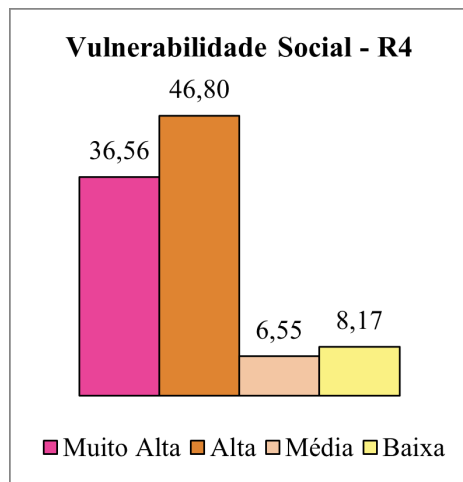


Figura 18. Representação em porcentagem das categorias mais presentes de vulnerabilidade social encontradas nos setores de grau de risco muito alto, que somam 0,75 km². Predomínio de vulnerabilidade social alta.

Fonte: Acervo do autor.

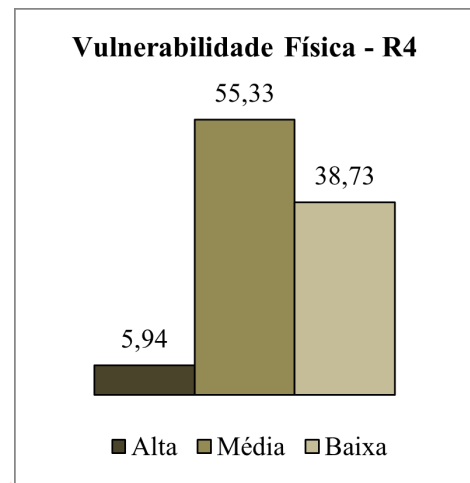


Figura 19. Representação em porcentagem das categorias de vulnerabilidade física encontradas nos setores de grau de risco muito alto, que somam 0,75 km². Predomínio de vulnerabilidade física média.

Fonte: Acervo do autor.

4 DISCUSSÃO

De maneira geral, os graus de risco atribuídos aos setores apresentam correlação positiva com a suscetibilidade, vulnerabilidade social e vulnerabilidade física. Em outras palavras, quanto maior o grau de risco, piores as condições encontradas de suscetibilidade, vulnerabilidade social e vulnerabilidade física em relação a acidentes.

A começar pela suscetibilidade, nos setores R1, vê-se uma predominância da classe baixa, com uma distribuição em 65,23% desses terrenos. Em setores R2, ocorre uma queda percentual para 39,73% de áreas com baixa suscetibilidade, predominando áreas de média suscetibilidade, com 46,55%. Nos setores R3, a suscetibilidade média continua a predominar, mas com aumento em porcentagem, aparecendo agora em 48% das áreas. Já nos setores R4, a predominância fica com a suscetibilidade alta, que se mostra em 54,86% dos terrenos, enquanto a suscetibilidade média distribui-se em 27,78% do território. A tabela 1 ajuda a visualizar a ordem em que as classes de suscetibilidade aparecem nos setores.

Tabela 1. Ordem em que aparecem as classes de suscetibilidade em cada grau de risco. Nota-se que quanto maior o grau de risco, mais frequente se torna a classe de suscetibilidade alta.

Suscetibilidade			
R1	R2	R3	R4
Baixa (65,23%)	Média (46,55%)	Média (48,00%)	Alta (54,86%)
Média (28,28%)	Baixa (39,73%)	Alta (26,93%)	Média (27,78%)
Alta (6,49%)	Alta (13,71%)	Baixa (25,07%)	Baixa (17,36%)

Fonte: Acervo do autor.

A vulnerabilidade social, à primeira vista, parece apresentar uma correlação negativa com o grau de risco. Nos setores R1, R2 e R3, têm-se a predominância da classe muito alta, enquanto nos setores R4 a vulnerabilidade social alta é a que mais aparece. Entretanto, à medida que se detalha a análise dos dados, observa-se o contrário. Se as porcentagens das classes de vulnerabilidade alta e muito alta forem somadas, sendo ambas as classes mais críticas quanto à ocorrência de acidentes, será observada a mesma correlação positiva com o grau de risco: nos setores R1, as classes alta e

muito alta somam 55,96%; nos setores R2 somam 57,71%; nos setores R3 somam 65,48%; e nos setores R4 somam 83,36%. A tabela 2 ajuda a visualizar a ordem em que as classes de vulnerabilidade social aparecem nos setores. A questão de todos os setores se situarem predominantemente em terrenos de vulnerabilidade social muito alta pode decorrer do fato do mapeamento das áreas de risco realizado pelo IPT ter sido focado nas áreas que apresentavam maior vulnerabilidade, que foram consideradas como as que poderiam sofrer maiores danos com a ocorrência de um evento.

Tabela 2. Ordem em que aparecem as classes de vulnerabilidade social em cada grau de risco. Nota-se que a soma da frequência das classes de maior vulnerabilidade social (alta e muito alta) cresce com o aumento do grau de risco.

Vulnerabilidade Social			
R1	R2	R3	R4
Muito Alta (37,00%)	Muito Alta (36,34%)	Muito Alta (36,31%)	Alta (46,80%)
Média (22,39%)	Alta (21,37%)	Alta (29,17%)	Muito Alta (36,56%)
Alta (18,96%)	Baixa (18,74%)	Média (14,51%)	Baixa (8,17%)
Baixa (14,05%)	Média (17,33%)	Baixa (14,47%)	Média (6,55%)
Muito Baixa (4,84%)	Muito Baixa (2,32%)	Muito Baixa (2,46%)	Muito Baixa (0,79%)
Baixíssima (0,00%)	Baixíssima (0,28%)	Baixíssima (0,13%)	Baixíssima (0,00%)

Fonte: Acervo do autor.

Quanto à vulnerabilidade física, nota-se uma predominância da classe baixa nos setores R1, R2 e R3, porém com uma diminuição desse tipo de construção à medida que se aumenta o grau de risco, até finalmente a vulnerabilidade média se tornar a predominante nos setores R4. Em termos percentuais, nos setores R1 a vulnerabilidade física baixa aparece em 92,67% dos terrenos,

89,54% nos setores R2, e 82,79% nos setores R3. A vulnerabilidade média, então, se torna a predominante nos setores R4, aparecendo em 55,33% contra 38,73% das áreas com vulnerabilidade física baixa. A tabela 3 ajuda a visualizar a ordem em que as classes de vulnerabilidade física aparecem nos setores.

Tabela 3. Ordem em que aparecem as classes de vulnerabilidade física em cada grau de risco. Nota-se uma diminuição da frequência da classe de vulnerabilidade física baixa e um aumento nas classes de vulnerabilidade física média e alta com o aumento do grau de risco.

Vulnerabilidade Física			
R1	R2	R3	R4
Baixa (92,67%)	Baixa (89,54%)	Baixa (82,79%)	Média (55,33%)
Média (4,28%)	Média (8,12%)	Média (14,87%)	Baixa (38,73%)
Alta (0,21%)	Alta (0,60%)	Alta (1,54%)	Alta (5,94%)

Fonte: Acervo do autor.

Alguns casos extremos chamam a atenção e merecem uma análise separada. Como exemplo, têm-se áreas de alta suscetibilidade em setores R1, que representam 6,49% dentro desses setores, ou a vulnerabilidade física baixa em setores R4, que representam 38,73% dentro desses setores. Em ambos os casos, a análise de todos os fatores em conjunto mostra-se justificada, visto que se analisados por si só, tais setores poderiam ter sido classificados com outro grau de risco. Um setor de grau de risco baixo com alta suscetibilidade a processos de movimentos de massa é plausível provavelmente devido ao tipo de intervenção e construção realizada na área. Com métodos construtivos e de intervenção adequados, a ocupação de áreas suscetíveis pode ser realizada de maneira mais segura, mitigando os riscos associados. Ao mesmo tempo, um setor de grau de risco muito alto com baixa vulnerabilidade física mostra que somente o tipo de construção não será suficiente para classificar uma área com grau de risco mais baixo. Soma-se a essas possíveis justificativas a diferença de escala entre os mapeamentos, que pode conferir diferenças entre o mostrado nos mapas e o encontrado em campo.

5 CONCLUSÕES

A análise da suscetibilidade e da vulnerabilidade física e social nos setores de risco de escorregamento do município de São Paulo permitiu reconhecer uma correlação positiva entre eles. À medida que graus de risco mais altos são investigados, condições mais desfavoráveis de suscetibilidade e vulnerabilidade são observadas.

O reconhecimento desse padrão é importante, pois tende a fortalecer a ideia de uma análise que leve em consideração tanto aspectos físicos (geológicos e construtivos) quanto sociais para a determinação do grau de risco. Além disso, a metodologia aplicada mostra-se como uma alternativa para visualização conjunta da distribuição das áreas mais suscetíveis e vulneráveis de um município.

O presente estudo limitou-se a caracterizar de maneira geral os setores de cada grau de risco. Sugere-se que, em caso de novos estudos sobre o tema, cada setor seja avaliado de maneira separada, de modo a fornecer um panorama mais detalhado sobre tal correlação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo fornecimento dos dados utilizados para este estudo.

REFERÊNCIAS

Bitar O.Y. 2014. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 2010. Análise e mapeamento de riscos associados a escorregamentos em áreas de encostas e a solapamentos de margens de córre-

gos em favelas do município de São Paulo. Relatório Técnico nº 119708-205. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas, 2010.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 2015. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de São Paulo – SP. Rio de Janeiro, 2015. 1 mapa, color. Escala 1:75.000.

Macedo E.S. & Bressani L.A. 2013. Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamento para planejamento do uso do solo. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABMS – Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, 2013.

Macedo E.S. & Mirandola F.A. 2018. Gestão de Riscos Geológicos. In: Oliveira A.M.dos.S., Monticeli J.J. Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: ABGE, 2018. p.280-300.

Martins P. P. D. & Macedo E. S. 2018. Influência dos fatores geológicos na definição de setores de risco alto e muito alto de deslizamento do município de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 16, 2018, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2018. p. 1-5.

Ministério das Cidades & Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 2007.

Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Organizadores: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 176p.

Santos J.O. 2015. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. Mercator, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

Seade. 2013a. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010 – Principais resultados. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Coordenação geral: Maria Paula Ferreira. 20p.

Seade. 2013b. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 2010 – Metodologia. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Coordenação geral: Maria Paula Ferreira. 18p.

UNDRR. 2009. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Published by the United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) Geneva, Switzerland, May 2009.

UNDRR. 2016. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. December, 2016. 41p.