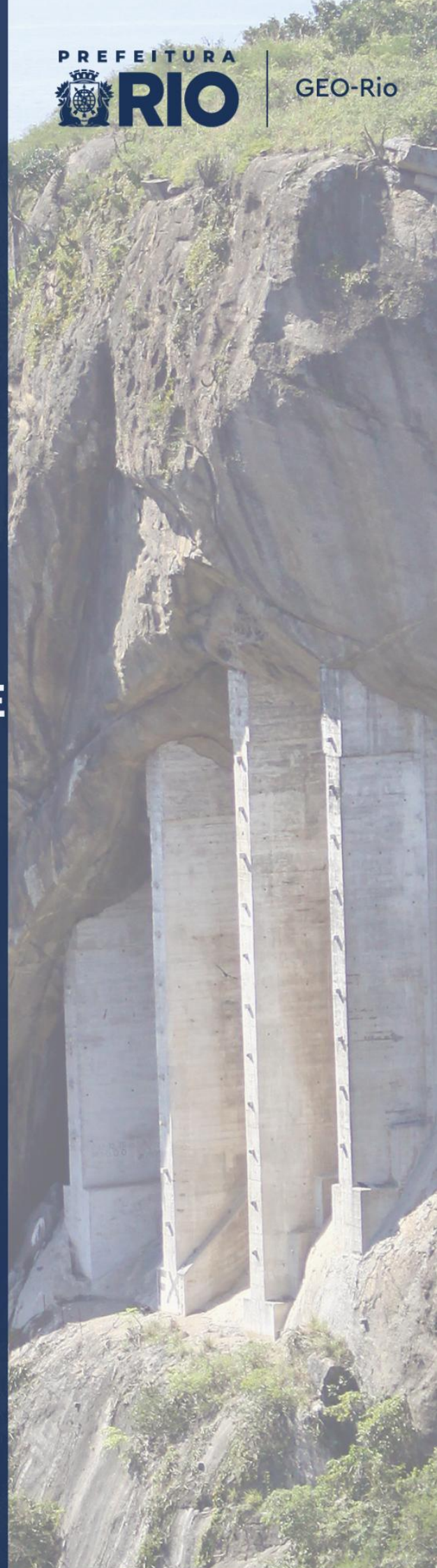


MOVIMENTOS DE MASSA EM AMBIENTE URBANO: ANÁLISE ESTATÍSTICA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

(2010 A 2018)



FICHA TÉCNICA

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Eduardo Paes

Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro

Wanderson José dos Santos

Secretário Municipal De Infraestrutura

Anderson de Andrade Marins

Presidente da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro

Marcus Bergman

Diretor de Projetos da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro

Raquel Batista Medeiros da Fonseca

Coordenadora de Geologia e Monitoramento da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro

Equipe Técnica e de Desenvolvimento

Raquel Batista Medeiros da Fonseca

Geóloga

Jenifer Roméro

Geóloga

Aline Pimentel da Silva

Geóloga

Danielle Gondariz

Geóloga

Davi Augusto Pimenta Gurgel

Assistente de Gabinete

Maria Clara Norte Coelho de Araújo

Estagiária de Geologia

QUADROS

Quadro 1 - Total de Ocorrências por Bairros	6
Quadro 2 - Subdivisão das variáveis Tipo de ocupação.	8
Quadro 3 - Subdivisão das variáveis Tipo de encosta	8
Quadro 4 - Categorização do volume mobilizado em casos de ocorrência.	9
Quadro 5 - Classificação das ocorrências de acordo com a tipologia predominante.	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das ocorrências por bairros e áreas de planejamento	7
Figura 2 - Distribuição das ocorrências no município do Rio de Janeiro entre 2010 e 2018.	13
Figura 3 - Distribuição das 3321 ocorrências ao longo dos oito anos em análise.	14
Figura 4 - Gráfico com a distribuição das ocorrências por bairros. Para melhor visualização os bairros foram agrupados (A a E) de acordo com a quantidade de ocorrência.	15
Figura 5 - Gráfico com a distribuição das ocorrências por bairros. Para melhor visualização, os bairros foram agrupados (A a E) de acordo com a quantidade de ocorrências registradas entre 2010 e 2018.	16
Figura 6- Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o tipo de ocupação.	17
Figura 7- Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o tipo de encosta.	18
Figura 8 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a Tipologia principal.	19
Figura 9 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a geologia	20
Figura 10 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o Grau de risco.	21
Figura 11 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o volume mobilizado.	22
Figura 12 - Gráfico multivariado relacionando o tipo de ocupação à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).	24
Figura 13 - Gráfico multivariado relacionando o tipo de encosta à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).	26
Figura 14 - Gráfico multivariado relacionando a geologia à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).	30
Figura 15 - Gráfico multivariado relacionando o volume mobilizado à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 4% (b).	32
Figura 16 - Gráfico multivariado relacionando o Grau de risco à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 10% (b).	34

SUMÁRIO

QUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	III
SUMÁRIO	IV
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 METODOLOGIA	4
3.1 Base de dados, critérios de seleção e variáveis analisadas	4
3.2 Avaliação da confiabilidade espacial	5
3.3 Análise da distribuição espacial das ocorrências	5
3.4 Classificações adotadas	7
3.4.1 Tipo de Ocupação	7
3.4.2 Tipo de Encosta	8
3.4.3 Categoria de Volume Mobilizado	8
3.4.4 Grau de Risco	9
3.4.5 Definição da Tipologia Principal de Movimento	10
3.5 Tratamento e Análise Estatística dos Dados	11
4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS	13
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	23
5.1 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e o Tipo de Ocupação	23
5.2 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e o Tipo de Encosta	25
5.3 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e a Litologia	28
5.4 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e a Categoria de Volume Mobilizado	30
5.4 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e Grau de Risco	32
5.5 Discussão Técnica	34
6. CONCLUSÃO	37

1 INTRODUÇÃO

Os desastres associados a inundações e, notadamente, a movimentos de massa são processos recorrentes em grandes centros urbanos, gerando imensuráveis perdas sociais e econômicas. Em domínios de clima tropical e relevo montanhoso, como o Sudeste brasileiro, a suscetibilidade natural do terreno é condicionada por fatores intrínsecos, tais como altas declividades, litologia complexa e presença de espessos mantos de intemperismo (FERNANDES et al., 2004; TOMINAGA et al., 2009). Contudo, essa suscetibilidade natural é drasticamente agravada pelas atividades antrópicas. A modificação empírica da geometria das encostas, aliada à ocupação desordenada e à supressão da cobertura vegetal, altera o estado original de tensões do maciço. Como resultado direto dessa intervenção humana, o relevo torna-se altamente vulnerável à ruptura por cisalhamento, culminando em instabilizações quando submetido aos extremos pluviométricos característicos da região (AZEVEDO, 2011; COELHO NETTO et al., 2011)

Na cidade do Rio de Janeiro, que apresenta riscos geológicos atrelados às suas características fisiográficas, a ocupação desordenada das encostas modificou o perfil destes riscos no município, de forma que a ação antrópica começou a predominar em detrimento às causas de acidentes naturais (Fundação Geo-Rio, 2005). Nesse cenário, o registro sistemático e a análise das ocorrências associadas a processos geológicos e a condicionantes geotécnicas tornam-se ferramentas para compreender os mecanismos de instabilização das encostas e aprimorar as estratégias de gestão do risco. Os laudos técnicos de vistoria elaborados pela Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (Fundação Geo-Rio), a partir de inspeções de campo, constituem uma base de dados valiosa, capaz de subsidiar análises estatísticas e interpretações integradas sobre a dinâmica dos processos de instabilização de encostas no município.

O presente relatório reúne e analisa estatisticamente as ocorrências registradas pela Fundação Geo-Rio entre os anos de 2010 e 2018, com foco em eventos de escorregamento e processos correlatos, analisados à luz de seus condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos. A abordagem adotada busca não

apenas caracterizar a distribuição espacial e temporal das ocorrências, mas também estabelecer relações entre os tipos de movimento, as características do meio físico, os padrões de ocupação do solo e o grau de risco associado.

Destaca-se que, ao estruturar os dados de forma sistemática e interpretativa, este relatório busca contribuir para o entendimento integrado dos fatores condicionantes dos desastres de origem geológica no município do Rio de Janeiro, oferecendo subsídios técnicos capazes de apoiar tanto o planejamento urbano quanto o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à prevenção e à mitigação de riscos em áreas de encosta. Além disso, a organização e a padronização das análises aqui apresentadas permitem que os resultados sirvam de base para futuras publicações científicas e para estudos comparativos em contextos urbanos semelhantes.

2 OBJETIVOS

O presente relatório tem como objetivo geral realizar a caracterização estatística e a análise integrada das ocorrências de origem geológica, associadas a condicionantes geotécnicas, registradas no município do Rio de Janeiro no período de 2010 a 2018, com ênfase nos processos de instabilização de encostas, especialmente aqueles relacionados a escorregamentos e a processos correlatos.

De forma específica, o estudo busca:

- Sistematizar e padronizar as informações contidas nos laudos técnicos de vistoria produzidos pela Fundação Geo-Rio no período analisado;
- Caracterizar a distribuição espacial e temporal das ocorrências registradas no município;
- Analisar a relação entre as tipologias de movimento de massa e os principais condicionantes geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e antrópicos;
- Identificar padrões recorrentes de instabilização que possam subsidiar ações de planejamento urbano, bem como estratégias de prevenção e mitigação de riscos.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada de modo a garantir a rastreabilidade, a reprodutibilidade e a consistência técnica das análises, possibilitando a replicação dos procedimentos em outros períodos e em diferentes contextos territoriais

3.1 Base de dados, critérios de seleção e variáveis analisadas

A base de dados utilizada neste estudo é composta pelos laudos técnicos de vistoria elaborados pela Fundação Geo-Rio entre os anos de 2010 e 2018. Inicialmente, todos os laudos produzidos no período foram triados, sendo excluídos aqueles classificados como “possibilidade de ocorrência” ou “ameaça”, de modo a restringir a análise aos registros referentes a ocorrências de origem geológica, associadas a processos de instabilização de encostas, efetivamente verificadas em campo. É importante destacar que, a confiabilidade da avaliação e do gerenciamento do risco geológico em áreas urbanas depende diretamente da qualidade e do detalhamento dos registros históricos. De acordo com Guzzetti et al. (2012) e as diretrizes do Ministério das Cidades (CARVALHO et al., 2007), a elaboração e sistematização de inventários de escorregamentos constituem ferramentas indispensáveis não apenas para o diagnóstico das áreas afetadas, mas para a formulação de políticas públicas de mitigação contínua

A partir da triagem foi constituído um conjunto de dados contendo 3.316 ocorrências, o qual passou por procedimentos de padronização e verificação de consistência antes da etapa de análise estatística.

Para cada ocorrência, foram extraídas e sistematizadas variáveis de interesse:

- Coordenadas X e Y +
confiabilidade
- N° do Laudo
- Data da Ocorrência
- Data da Vistoria
- Endereço
- Bairro
- Comunidade/Setor
- Tipo de Ocupação
- Relevo
- Tipo de Encosta/Talude
- Tipologia de Ocorrência
- Natureza do Material
- Volume (m³)
- Grau de Risco
- Vítimas
- Litologia

Essas variáveis foram selecionadas por representarem os principais elementos necessários à caracterização dos processos de instabilização de encostas e à avaliação do risco associado em áreas urbanas.

3.2 Avaliação da confiabilidade espacial

As ocorrências foram classificadas quanto ao nível de confiabilidade de sua localização espacial após o processo de georreferenciamento. Adotaram-se três categorias:

- Alta (A): registros cuja localização não necessitou de qualquer ajuste;
- Média (M): registros sem alteração das coordenadas, mas com necessidade de correção de informações associadas, como logradouro, bairro ou comunidade;
- Baixa (B): registros que demandaram ajuste das coordenadas geográficas.

Essa classificação permitiu avaliar a qualidade espacial da base de dados e orientar a interpretação dos resultados referentes à distribuição territorial das ocorrências.

3.3 Análise da distribuição espacial das ocorrências

Com a base de dados georreferenciada e classificada quanto à confiabilidade espacial, procedeu-se à análise da distribuição espacial das ocorrências, com o objetivo de identificar padrões territoriais no município do Rio de Janeiro.

Para essa etapa, as ocorrências foram inicialmente analisadas por bairro, considerando o número total de registros acumulados no período de 2010 a 2018. Em seguida, os bairros foram agrupados em cinco classes (A a E), definidas de acordo com a quantidade total de ocorrências observadas: 1 a 10, 11 a 20, 21 a 50, 51 a 100 e 101 a 250 ocorrências, conforme quadro 1. Esse procedimento permitiu reduzir a dispersão dos dados e facilitar a interpretação dos padrões espaciais.

Quadro 1 – Total de Ocorrências por Bairros

GRUPO	Quantidade ocorrências	BAIRROS
A	1 a 10	Abolição, Acari, Água Santa, Anil, Bancários, Barros Filho, Barra da Tijuca, Bento Ribeiro, Benfica, Camorim, Cachambi, Cidade de Deus, Coelho Neto, Cosmos, Curicica, Del Castilho, Deodoro, Encantado, Engenheiro Leal, Galeão, Glória, Ipanema, Inhoaíba, Jacarezinho, Jardim América, Leblon, Magalhães Bastos, Marechal Hermes, Osvaldo Cruz, Paciência, Padre Miguel, Parada de Lucas, Parque Anchieta, Parque Colúmbia, Pedra de Guaratiba, Pechincha, Portuguesa, Praia da Bandeira, Recreio dos Bandeirantes, Riachuelo, Ribeira, Rocha, Sampaio, São Francisco Xavier, Saúde, Sepetiba, Todos os Santos, Turiaçu, Vargem Grande, Vargem Pequena, Vicente de Carvalho, Vila Kennedy, Vista Alegre, Urca, Zumbi.
B	11 a 20	Barra de Guaratiba, Bonsucesso, Cacuia, Campinho, Catete, Catumbi, Centro, Cocotá, Colégio, Cordovil, Costa Barros, Engenho da Rainha, Estácio, Flamengo, Freguesia, Freguesia (Jacarepaguá), Gamboa, Gávea, Guadalupe, Humaitá, Honório Gurgel, Joá, Jardim Botânico, Jardim Guanabara, Jardim Sulacap, Mangueira, Méier, Paquetá, Pitangueiras, Ricardo de Albuquerque, Rocha Miranda, Santo Cristo, Santa Cruz, São Cristóvão, Senador Camará, Senador Vasconcelos, Tanque, Tauá, Usina, Vigário Geral, Vila Kosmos, Vila da Penha.
C	21 a 50	Anchieta, Bangu, Botafogo, Brás de Pina, Cavalcanti, Cosme Velho, Engenho de Dentro, Engenho Novo, Grajaú, Guaratiba, Inhaúma, Irajá, Itanhangá, Jardim Carioca, Lagoa, Laranjeiras, Leme, Madureira, Olaria, Pavuna, Penha Circular, Piedade, Pilares, Praça Seca, Quintino Bocaiúva, Ramos, Realengo, Rocinha, Santíssimo, São Conrado, Taquara, Tomás Coelho, Vaz Lobo, Vidigal, Vila Valqueire.
D	51 a 100	Alto da Boa Vista, Andaraí, Campo Grande, Cascadura, Copacabana, Lins de Vasconcelos, Penha, Vila Isabel.
E	101 a 250	Complexo do Alemão, Jacarepaguá, Rio Comprido, Santa Teresa, Tijuca.

Os grupos de bairros assim definidos foram posteriormente relacionados às cinco Áreas de Planejamento (APs) do município: AP-1 (Centro), AP-2 (Zona Sul/Tijuca), AP-3 - (Zona Norte), AP-4 (Barra/Jacarepaguá) e AP-5 (Zona Oeste), conforme ilustrado na Figura 1, possibilitando uma leitura integrada da distribuição espacial das ocorrências em diferentes escalas territoriais.

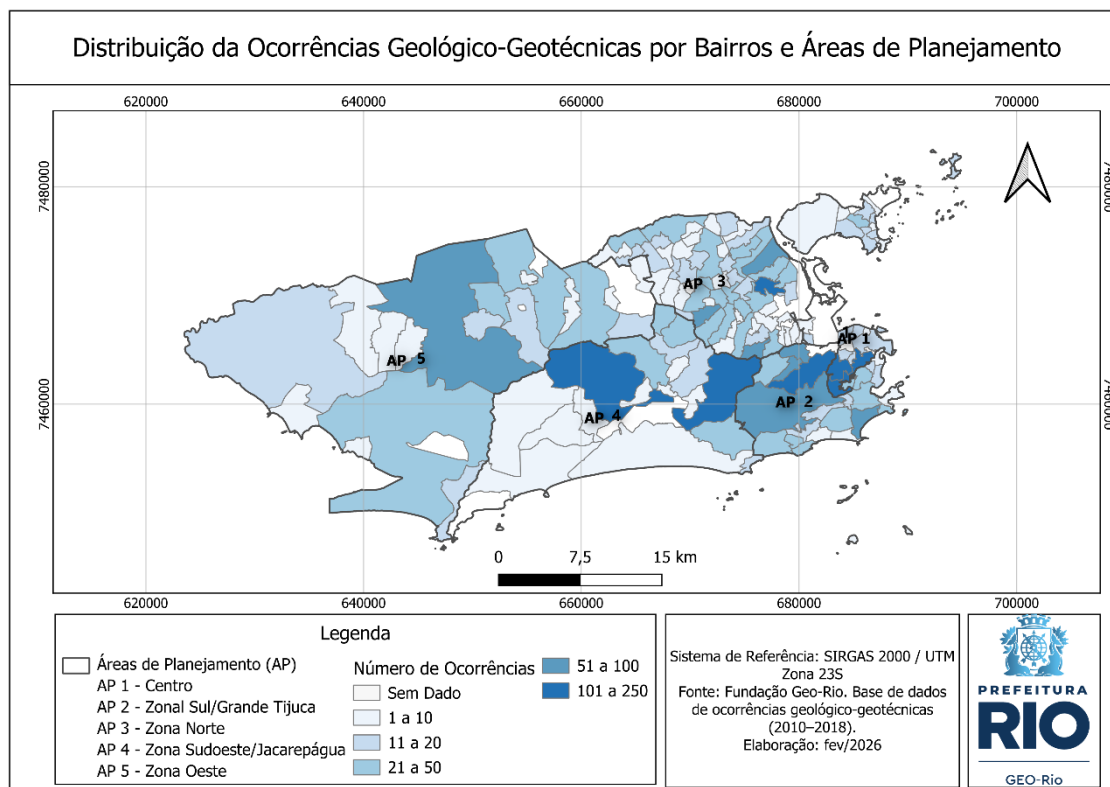


Figura 1 - Distribuição das ocorrências por bairros e áreas de planejamento

3.4 Classificações adotadas

Para garantir a padronização das análises e a comparabilidade dos resultados, as ocorrências de origem geológica, analisadas nesse estudo, foram classificadas segundo critérios técnicos descritos no *Manual Técnico de Encostas da Fundação Geo-Rio (2022)*. As classificações contemplam os principais atributos necessários à interpretação dos processos de instabilização de encostas e à avaliação do risco geológico associado, conforme descrito a seguir.

3.4.1 Tipo de Ocupação

As ocorrências foram classificadas quanto ao tipo de ocupação do entorno imediato, considerando categorias que representam diferentes contextos de uso e ocupação do solo, abrangendo desde áreas não ocupadas ou de preservação ambiental até setores densamente urbanizados (Quadro 2). Essa classificação reflete tanto o grau de intervenção antrópica quanto o nível de exposição e vulnerabilidade dos elementos potencialmente afetados pelos processos de instabilização.

Quadro 2 - Subdivisão das variáveis Tipo de ocupação.

TIPO DE OCUPAÇÃO
Área de preservação ambiental
Área não ocupada
Área urbana estruturada
Favela
Interface de favela
Ocupação irregular
Outras

3.4.2 Tipo de Encosta

O tipo de encosta, no quadro 3, foi utilizado para caracterizar a geometria e a origem do talude associado a cada ocorrência, distinguindo-se entre encostas naturais e taludes artificiais, como taludes de corte e taludes de aterro, além de outras situações específicas, tais como escavação, talvegue e extração mineral. Essa classificação permite avaliar a influência direta das modificações impostas ao terreno nos mecanismos de instabilidade observados.

Quadro 3 - Subdivisão das variáveis Tipo de encosta

TIPO DE ENCOSTA
Encosta natural
Talude de aterro
Talude de corte
Talvegue
Escavação
Extração mineral
Outros

3.4.3 Categoria de Volume Mobilizado

Quanto à classificação das ocorrências segundo o volume mobilizado (Quadro 4), adotou-se como referência o sistema de categorização elaborado pela Fundação Geo-Rio, que agrupa os eventos de instabilização de encostas em quatro classes de volume mobilizado. Essa classificação permite diferenciar ocorrências de pequeno, médio e grande porte, subsidiando a análise da magnitude dos processos de origem geológica e sua relação com os condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos.

Quadro 4 - *Categorização do volume mobilizado em casos de ocorrência.*

Categoria de volume mobilizado	m ³
A	0-10
B	11-100
C	101-1000
D	>1000

3.4.4 Grau de Risco

A análise do risco geológico-geotécnico é essencialmente multidisciplinar, exigindo a consideração integrada do conhecimento técnico dos profissionais envolvidos, dos processos geológicos atuantes e das condições geotécnicas e geomorfológicas do terreno, bem como das especificidades associadas a cada ocorrência.

No âmbito das vistorias técnicas realizadas, é efetuado o cadastro individual de risco para cada ponto analisado. Esse cadastro é acompanhado de descrição técnica detalhada, contemplando a geometria do talude, o perfil de solo e/ou rocha, a presença e a orientação das principais descontinuidades estruturais, além da identificação e quantificação dos elementos expostos, tais como moradias, acessos e redes de infraestrutura urbana. O registro é complementado por documentação fotográfica e, quando aplicável, por perfis transversais representativos da área avaliada (Geo-Rio, 2022).

A classificação do risco é realizada por meio de um processo de hierarquização, no qual os pontos classificados como Alto Risco correspondem àqueles em que a condição de instabilização é evidente ou iminente, geralmente associada à possibilidade de ocorrência de novos eventos e ao elevado potencial de dano, em função da presença de um número significativo de edificações e/ou de áreas-fonte de risco. Em contrapartida, os pontos classificados como Baixo Risco correspondem àqueles em que a probabilidade de ocorrência é reduzida, geralmente associada a ocupações mais ordenadas e a características do meio físico mais favoráveis (Geo-Rio, 2022).

Dessa forma, as ocorrências analisadas foram classificadas de acordo com os graus de risco: Alto, Médio, Baixo e Inexistente.

3.4.5 Definição da Tipologia Principal de Movimento

Com relação ao critério “tipologia de ocorrência”, considera-se que as ocorrências podem ser classificadas como simples, quando apenas uma tipologia é identificada, ou complexas, quando duas ou mais tipologias ocorrem de forma associada. Nesses casos, torna-se necessária a análise detalhada dos laudos técnicos a fim de identificar a tipologia que atuou como processo deflagrador das demais, permitindo, assim, a definição da tipologia predominante.

Para essa finalidade, adotou-se neste trabalho a legenda padrão de classificação elaborada pela Fundação Geo-Rio, apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação das ocorrências de acordo com a tipologia predominante.

Classe
01- Escorregamento de solo em talude de corte
02- Escorregamento de solo/rocha em talude de corte
03- Escorregamento de rocha em talude de corte
04- Ruptura de Talude Aterro
05- Escorregamento de solo em encosta natural
06- Escorregamento de solo/rocha em encosta natural
07- Escorregamento de rocha em encosta natural
08- Queda/Rolamento de Blocos ou Lascas Rochosos
09- Escorregamento de Tálus/colúvio
10- Ruptura de estrutura de contenção
11- Escorregamento de Lixo/Entulho
12- Corrida
13- Processo erosivo/assoreamento
outros

Os resultados dessa etapa são apresentados na seção de “Análise dos resultados”, abordando a tipologia principal de movimento como referência em todas as análises conjuntas, sendo representada graficamente por cores padronizadas em gráficos de barras empilhadas, correspondentes às colunas das planilhas de dados. Essa estratégia permitiu avaliar, de forma integrada, a participação relativa de cada tipologia em função do tipo de encosta, tipo de ocupação, grau de risco, categoria de volume mobilizado e geologia, evidenciando padrões e associações relevantes entre os fatores condicionantes das ocorrências.

3.5 Tratamento e Análise Estatística dos Dados

Para a análise estatística das 3.316 ocorrências geológico-geotécnicas registradas no município do Rio de Janeiro no período de 2010 a 2018, foi inicialmente realizada a consolidação da base de dados, seguida por procedimentos de triagem, padronização e tratamento das informações. Essa etapa incluiu a remoção de registros duplicados, a correção de inconsistências e a uniformização dos formatos dos campos, com o objetivo de assegurar a qualidade e a consistência dos dados analisados.

Após o tratamento da base, as ocorrências foram analisadas por meio de estatística descritiva, com cálculo de frequências relativas (percentuais) em relação às principais variáveis de interesse: distribuição espacial (por bairros e Áreas de Planejamento), tipo de ocupação, tipo de encosta, tipologia principal de movimento, geologia, categoria de volume mobilizado e grau de risco. Para cada variável, o cálculo consistiu na razão entre o número de ocorrências em cada classe e o total de registros, sendo os resultados expressos em porcentagem. Os resultados dessas análises são apresentados por meio de gráficos e tabelas de distribuição percentual, conforme detalhado na seção de *Apresentação dos Dados*.

Destaca-se que a partir da definição da tipologia predominante, foi desenvolvida uma análise multivariada exploratória com o objetivo de avaliar a relação entre o tipo de movimento principal, adotado como variável de referência, e as demais variáveis de contexto. Essa abordagem permitiu a combinação simultânea das variáveis analisadas e a obtenção de resultados expressos em percentual do total de ocorrências, possibilitando a comparação direta entre os diferentes cenários avaliados.

Vale ainda ressaltar que essa abordagem metodológica possibilitou a identificação de padrões recorrentes e associações relevantes entre as variáveis analisadas, fornecendo subsídios técnicos para a interpretação dos resultados e para a discussão dos processos de instabilização das encostas no município do Rio de Janeiro.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

As ocorrências registradas no município do Rio de Janeiro no período de 2010 a 2018 apresentam distribuição espacial concentrada principalmente nas áreas correspondentes ao Maciço da Tijuca, à Serra da Misericórdia e à Ilha do Governador, conforme ilustrado na Figura 2.

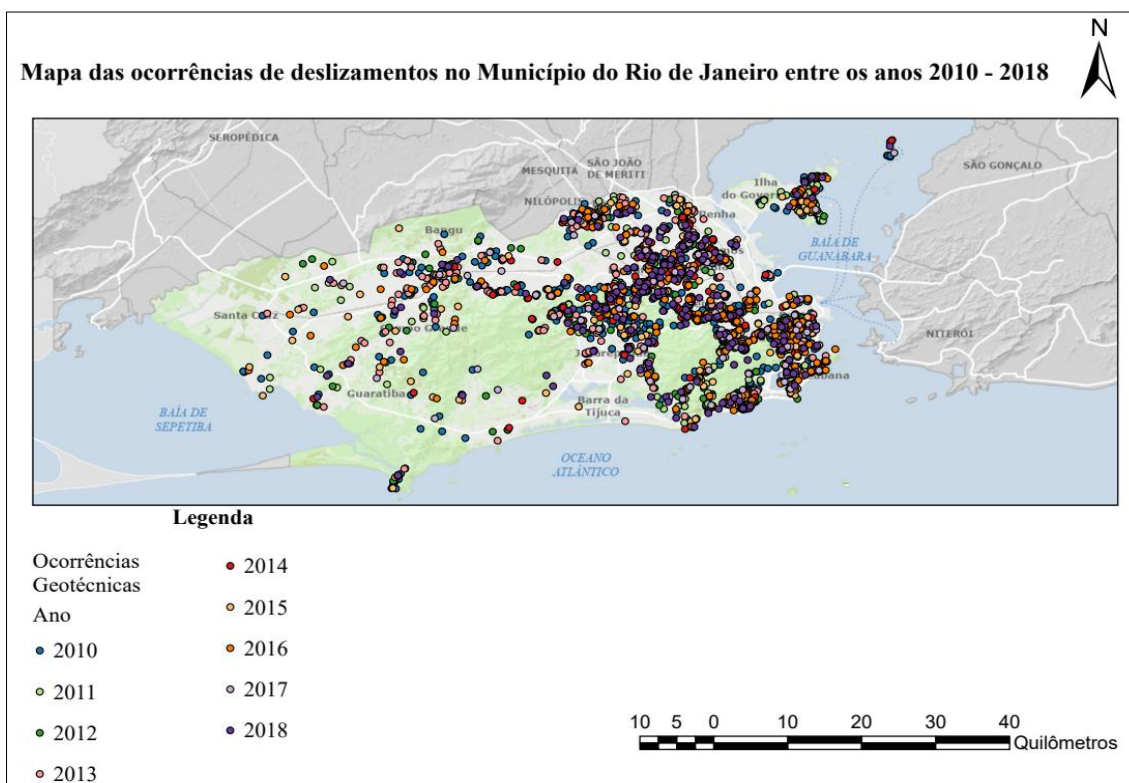


Figura 2 - Distribuição das ocorrências no município do Rio de Janeiro entre 2010 e 2018.

A distribuição temporal das ocorrências ao longo do período analisado é apresentada na Figura 3. Observa-se um pico expressivo no ano de 2010, que concentra aproximadamente 39% do total de registros, seguido por valores elevados em anos subsequentes, como 2013.

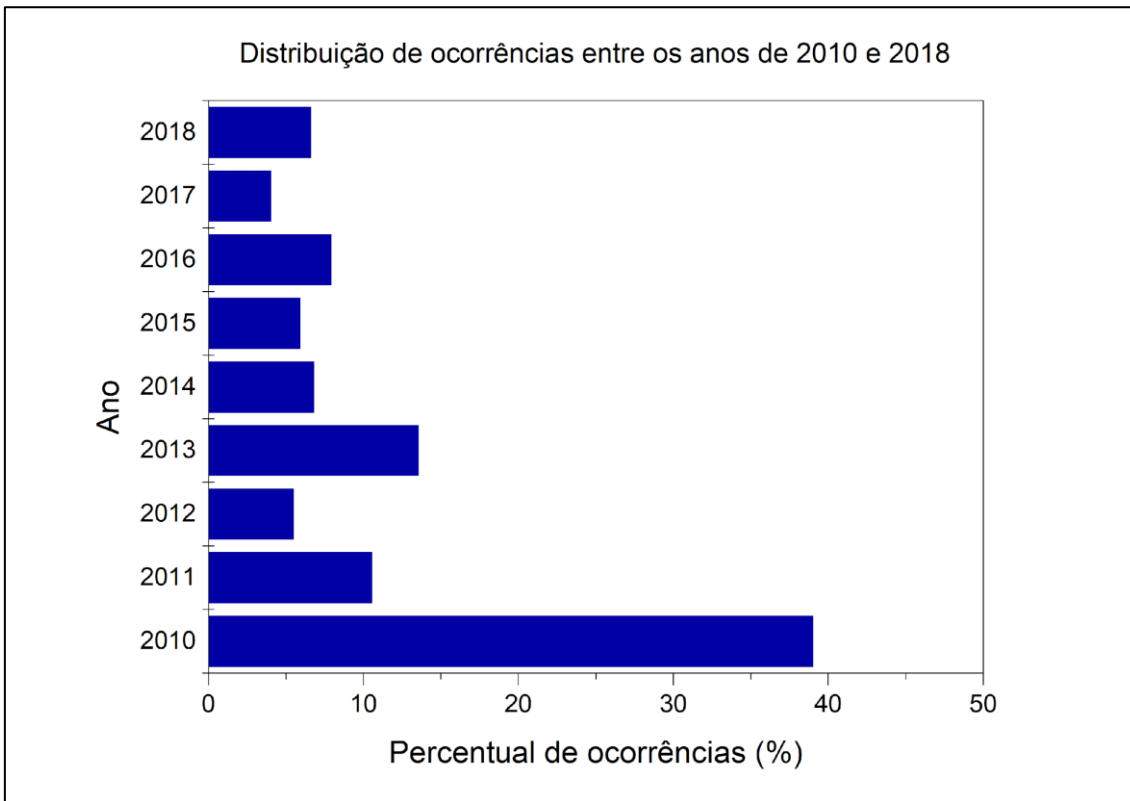


Figura 3 - Distribuição das 3321 ocorrências ao longo dos oito anos em análise.

Para a análise da distribuição espacial por bairros, as ocorrências foram agrupadas em classes definidas de acordo com o número total de registros acumulados no período, conforme metodologia descrita anteriormente. Essa estratégia permitiu reduzir a dispersão dos dados e facilitar a identificação de padrões territoriais. Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 4, na qual se observa que o bairro de Jacarepaguá contabilizou 250 registros no período, enquanto o bairro da Tijuca apresentou 184 ocorrências. Observa-se que 56 bairros concentram entre 0 e 10 registros (Grupo A), dos quais 18 apresentaram até duas ocorrências ao longo dos nove anos analisados. O Grupo B, correspondente à faixa de 11 a 20 ocorrências, é composto por 41 bairros.

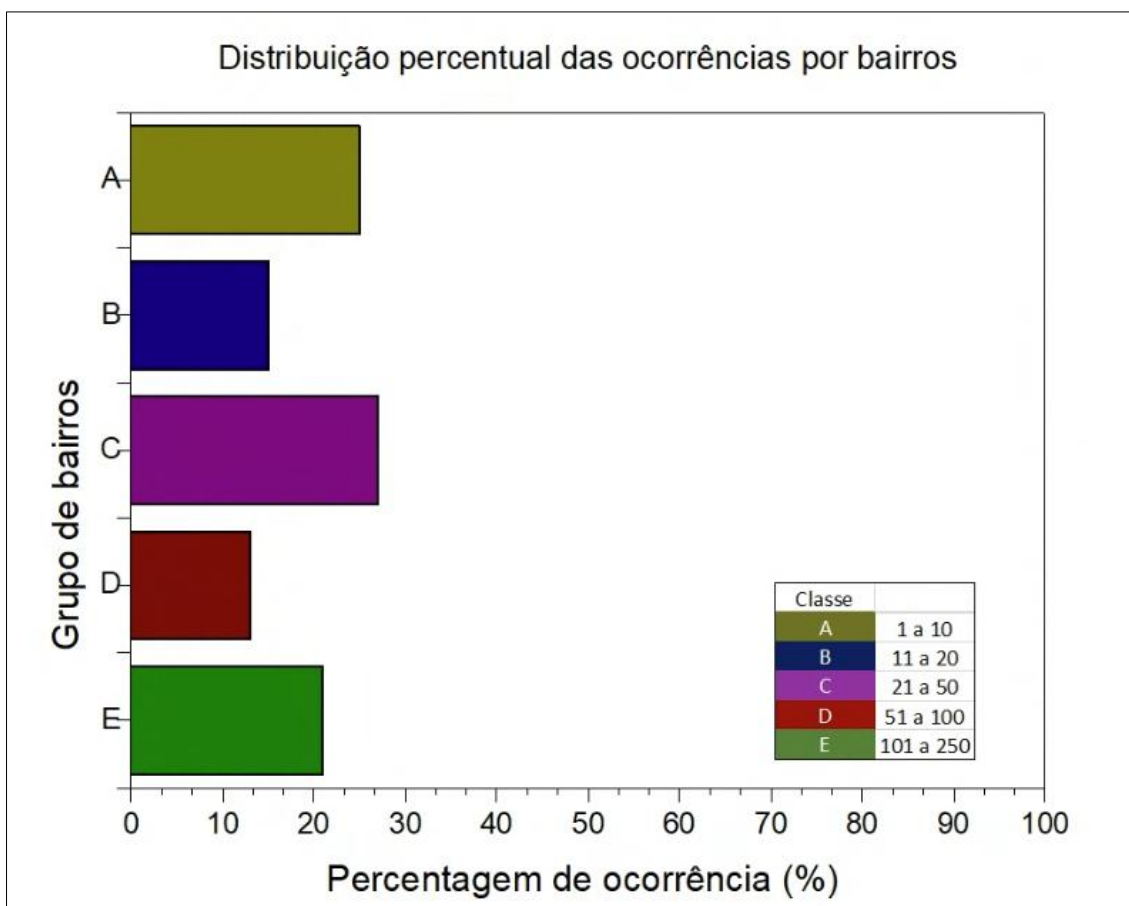


Figura 4 - Gráfico com a distribuição das ocorrências por bairros. Para melhor visualização os bairros foram agrupados (A a E) de acordo com a quantidade de ocorrência.

A distribuição das ocorrências segundo as Áreas de Planejamento (APs) do município é apresentada na Figura 5. Verifica-se maior concentração de registros na AP-3 (Zona Norte), com 1.278 registros distribuídos em 72 bairros. Em seguida destacam-se a AP-2 (Zona Sul e Grande Tijuca) com 880 ocorrências em 24 bairros, e a AP-4 (Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus), com 457 ocorrências distribuídas em 17 bairros. Essa distribuição reflete tanto a extensão territorial dessas áreas quanto a intensidade da ocupação urbana em setores de encosta.

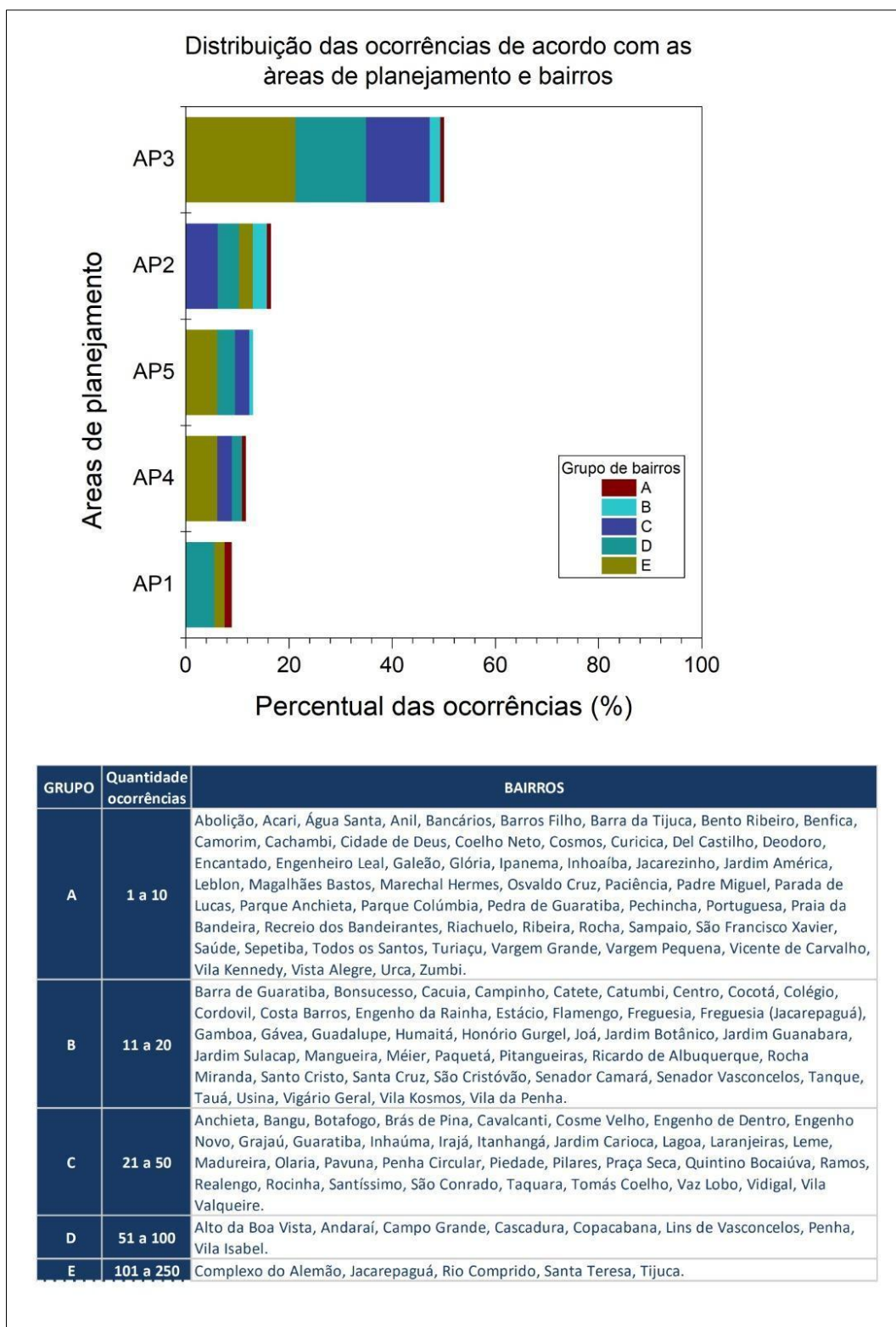


Figura 5 - Gráfico com a distribuição das ocorrências por bairros. Para melhor visualização, os bairros foram agrupados (A a E) de acordo com a quantidade de ocorrências registradas entre 2010 e 2018.

A relação entre a tipologia principal dos movimentos e o tipo de ocupação é apresentada na Figura 6. As ocorrências associadas a áreas classificadas como favelas correspondem a 46% do total analisado. As áreas urbanas estruturadas

também apresentam participação expressiva, com aproximadamente 38% das ocorrências, evidenciando que os processos de instabilização não se restringem a contextos de ocupação informal, mas estão associados, de forma mais ampla, à modificação das encostas no ambiente urbano.

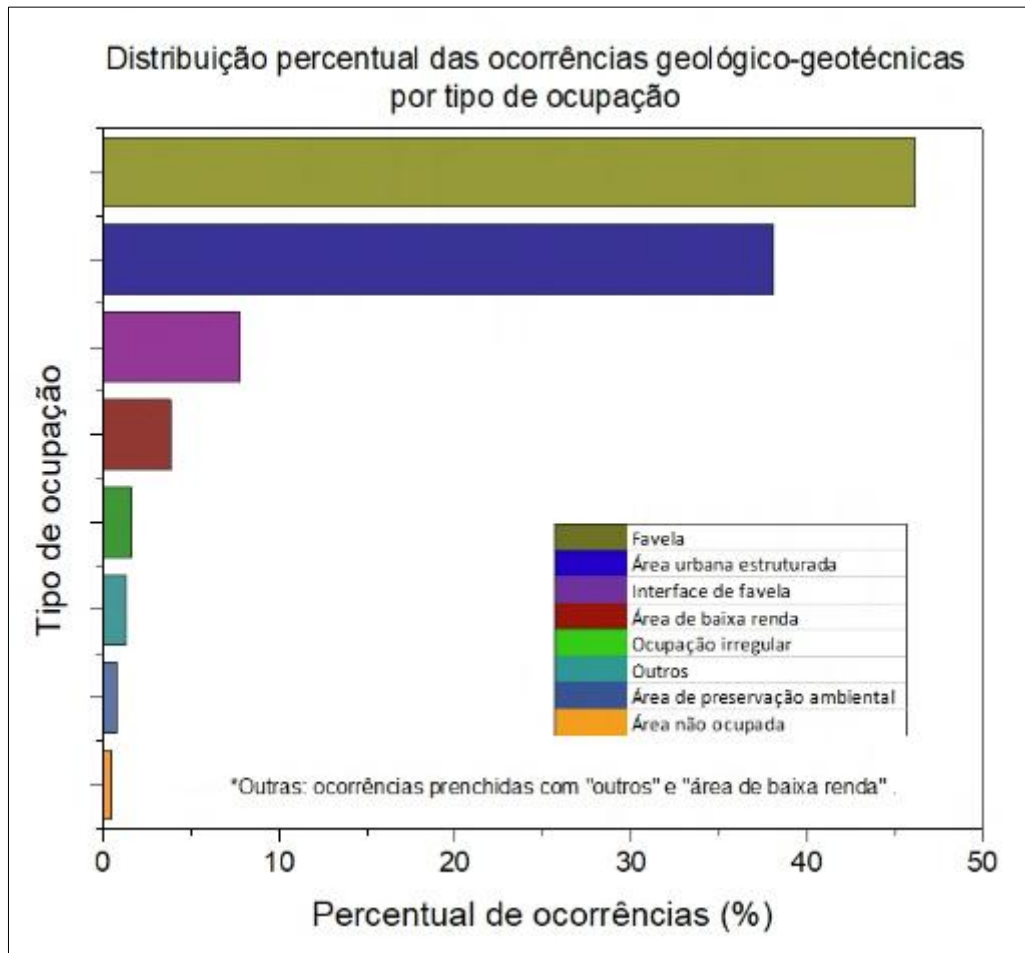


Figura 6- Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a tipo de ocupação.

A distribuição das ocorrências em relação ao tipo de encosta é apresentada na Figura 7. Do total analisado, 69% das ocorrências relacionadas a talude de corte, 13,6% ocorrem em talude de aterro, e 11,9 % em encosta natural. Esse padrão reforça a influência das alterações antrópicas na geometria original do terreno como fator central na deflagração dos processos de instabilização no município.

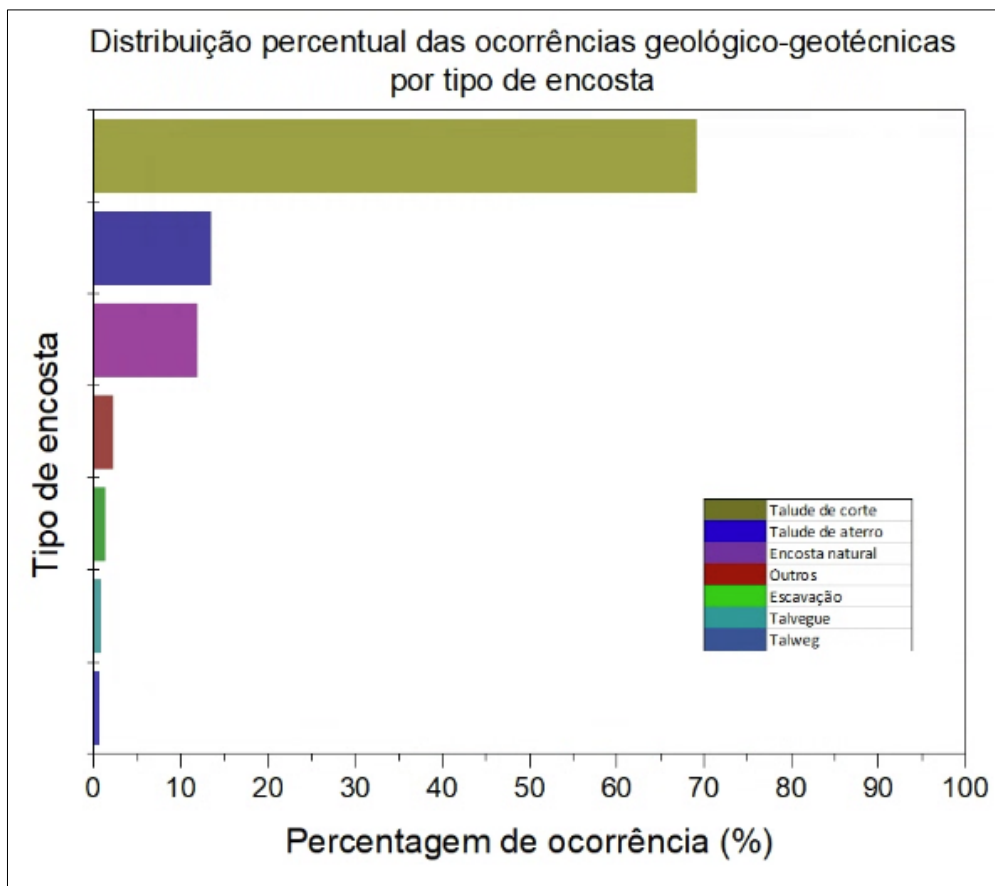


Figura 7- Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a tipo de encosta.

No que se refere à tipologia principal de movimento, observa-se, conforme apresentado na Figura 8, o predomínio dos escorregamentos de solo em talude de corte, responsáveis por 47,8% do total de registros no período analisado. Em seguida, destacam-se as ocorrências de ruptura de estrutura de contenção, que correspondem a 19,2% das ocorrências. As tipologias intituladas escorregamento de solo em encosta natural e queda/rolamento de blocos ou lascas rochosas apresentam participações menores, representando 7,2% e 6,4% do total, respectivamente.

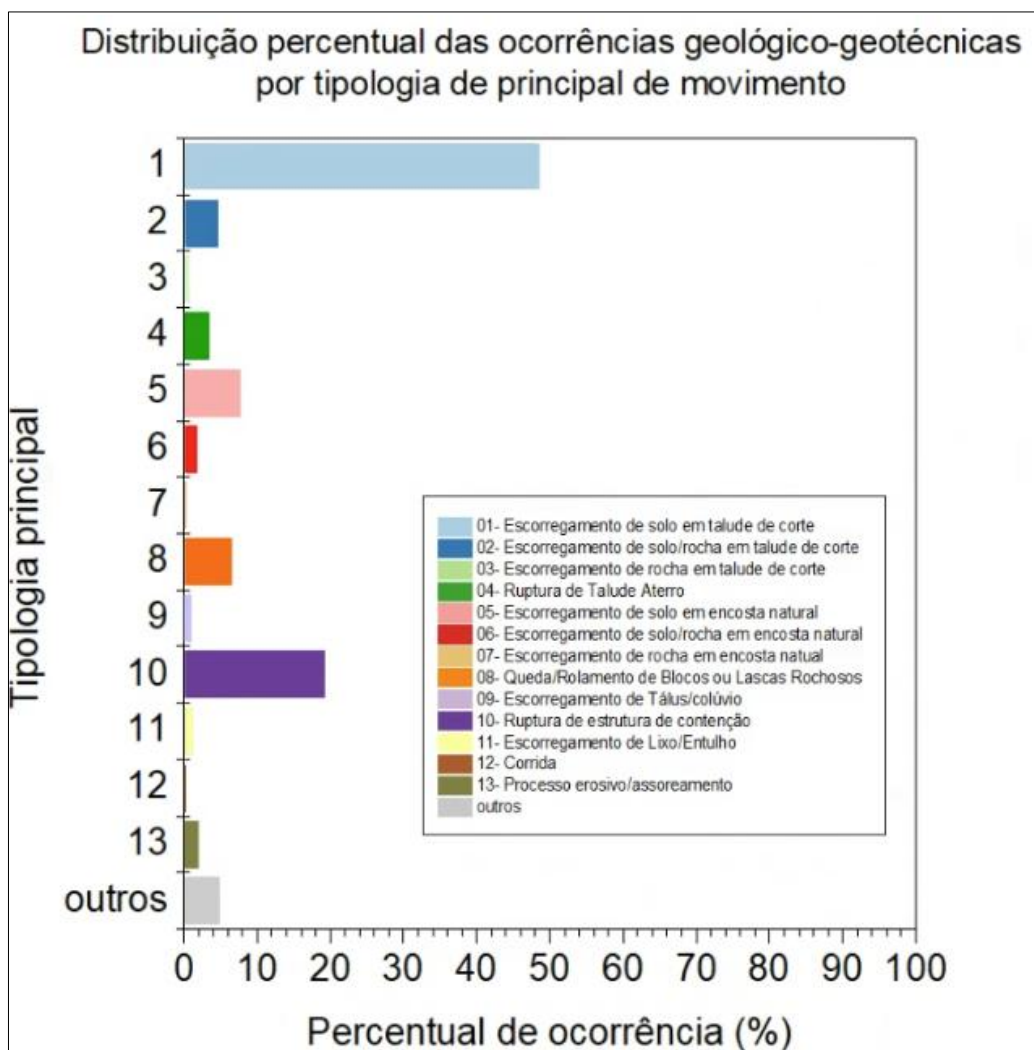


Figura 8 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a Tipologia principal.

A distribuição das ocorrências em relação às unidades geológicas é apresentada na Figura 9. Observa-se maior concentração de registros em litologias gnáissicas e graníticas, predominantes na cidade. Destacam-se os gnaisses migmatíticos e biotita gnaisses, que concentram cerca de 19% das ocorrências, seguidos pelo gnaiss facoidal (15%) e pelo Granito Favela, além de depósitos aluvionares, que representam aproximadamente 10% dos registros.

Destaca-se que unidades geológicas de ocorrência espacial restrita apresentam percentuais reduzidos e, por esse motivo, não se destacam no conjunto geral analisado, não sendo individualizadas no gráfico aquelas com participação inferior a 0,2%, como é o caso da unidade classificada como “aterro” (0,15%).

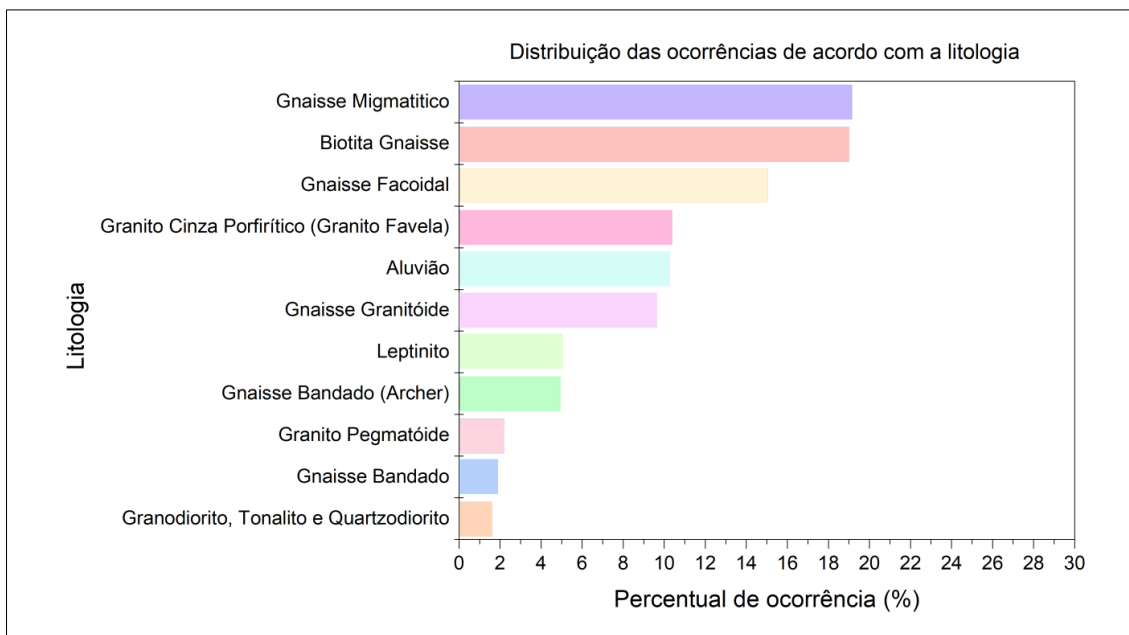


Figura 9 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com a geologia

A classificação das ocorrências segundo o grau de risco é apresentada na Figura 10. Observa-se que 52,6% dos registros correspondem a áreas classificadas como Alto Risco, evidenciando o elevado potencial de dano associado às instabilidades identificadas nas vistorias técnicas. As classes de Risco Médio e Risco Baixo representam 36% e 10% das ocorrências, respectivamente, enquanto os registros classificados como Risco Inexistente correspondem a 0,54% do total. Adicionalmente, 0,72% das ocorrências não apresentam classificação de risco atribuída.

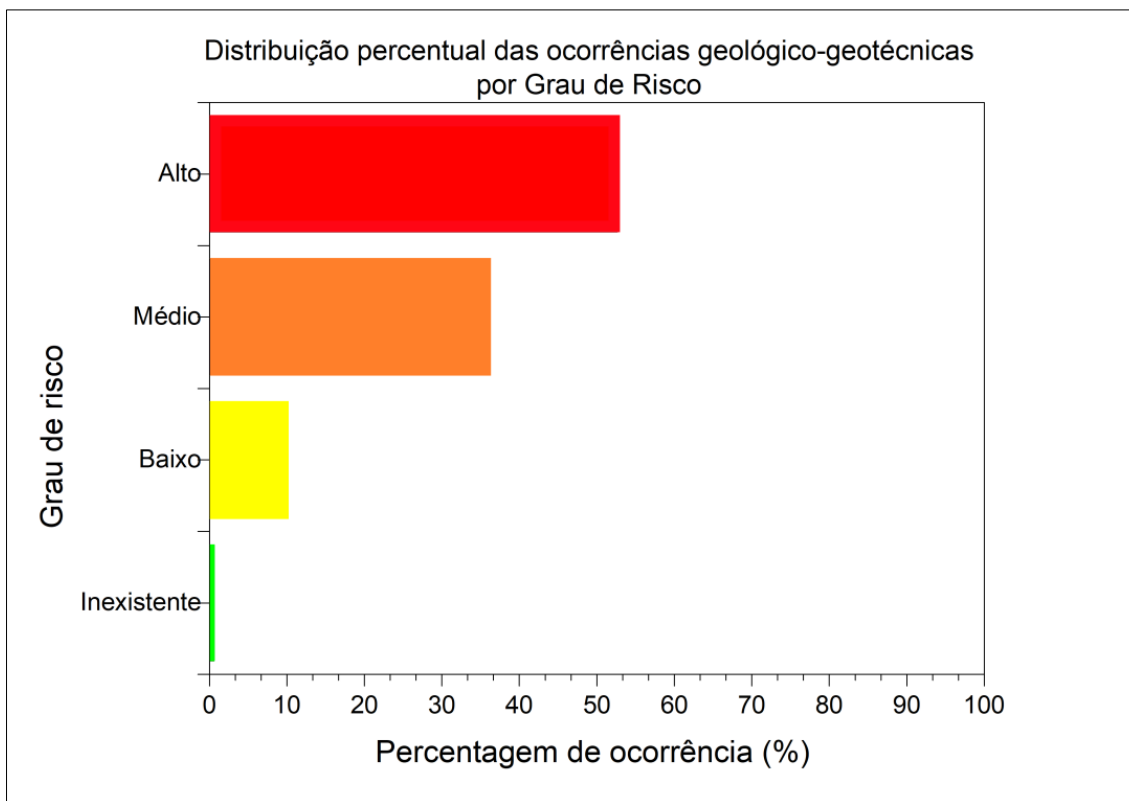


Figura 10 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o Grau de risco.

A distribuição das ocorrências em relação à categoria de volume mobilizado é apresentada na Figura 11. Observa-se o predomínio de eventos classificados na categoria A (0 a 10 m³), que correspondem a 49,9% dos registros, seguidos pela categoria B (11 a 100 m³), com 22,1% das ocorrências. As categorias C (101 a 1.000 m³) e D (acima de 1.000 m³) apresentam participação significativamente menor, representando 3% e 0,48% do total, respectivamente.

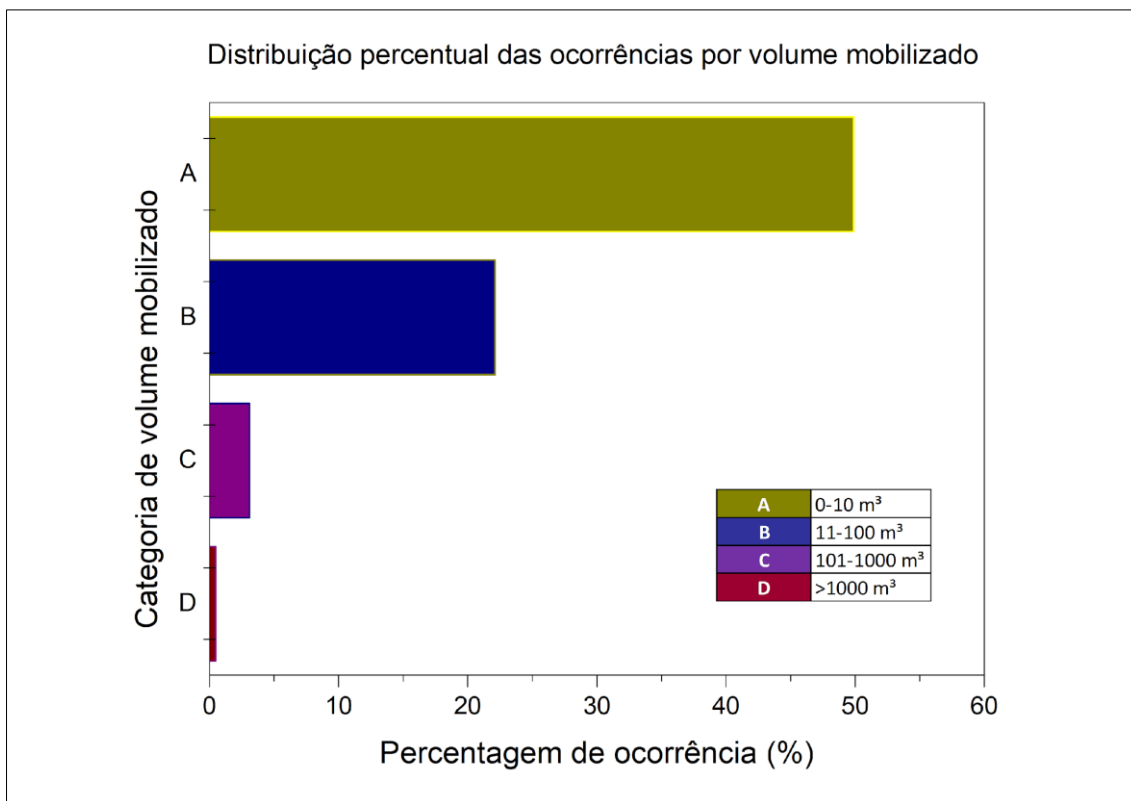


Figura 11 - Gráfico de distribuição de ocorrências de acordo com o volume mobilizado.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A abordagem adotada, a partir da definição da tipologia principal de movimento como variável fixa, permitiu identificar padrões consistentes de associação entre os mecanismos de instabilização e os condicionantes geológico-geotécnicos, geomorfológicos e antrópicos presentes nas encostas do município do Rio de Janeiro. A interpretação integrada dos dados geológico-geotécnicos revela que a instabilidade das encostas no Município do Rio de Janeiro não decorre exclusivamente de condicionantes naturais, mas está fortemente associada à forma como o relevo é modificado, ocupado e mantido no espaço urbano.

5.1 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e o Tipo de Ocupação

A correlação entre a tipologia principal de movimento e o tipo de ocupação (Figura 12a) evidencia a forte influência do padrão de uso e ocupação do solo na deflagração dos processos de instabilidade. As ocorrências associadas a áreas classificadas como favela representam cerca de 46% do total analisado, com predomínio dos escorregamentos de solo em talude de corte, que correspondem a pouco mais de 25% do conjunto geral de registros. Observa-se ainda participação relevante das rupturas de estruturas de contenção, que respondem por aproximadamente 6,5% das ocorrências.

Nas áreas urbanas estruturadas, responsáveis por cerca de 38% dos registros, mantém-se o predomínio dos escorregamentos associados a taludes de corte (aproximadamente 15% do total), seguidos pelas rupturas de estruturas de contenção (9%). Esse comportamento demonstra que os mecanismos de instabilização não se restringem a contextos de ocupação informal, estando relacionados, sobretudo, às intervenções realizadas nas encostas, independentemente do grau de formalização da ocupação. Em muitos desses setores, cortes mal executados, associados à impermeabilização crescente do solo e à deficiência de manutenção das estruturas existentes, contribuem para a perda progressiva das condições de estabilidade originalmente previstas.

As áreas não ocupadas, por sua vez, apresentam participação pouco expressiva no conjunto das ocorrências (pouco superior a 0,5%), conforme evidenciado na Figura 12b. Nesses setores, observa-se maior dispersão tipológica, reforçando

o papel secundário dos condicionantes exclusivamente naturais frente à influência antrópica nos processos analisados.

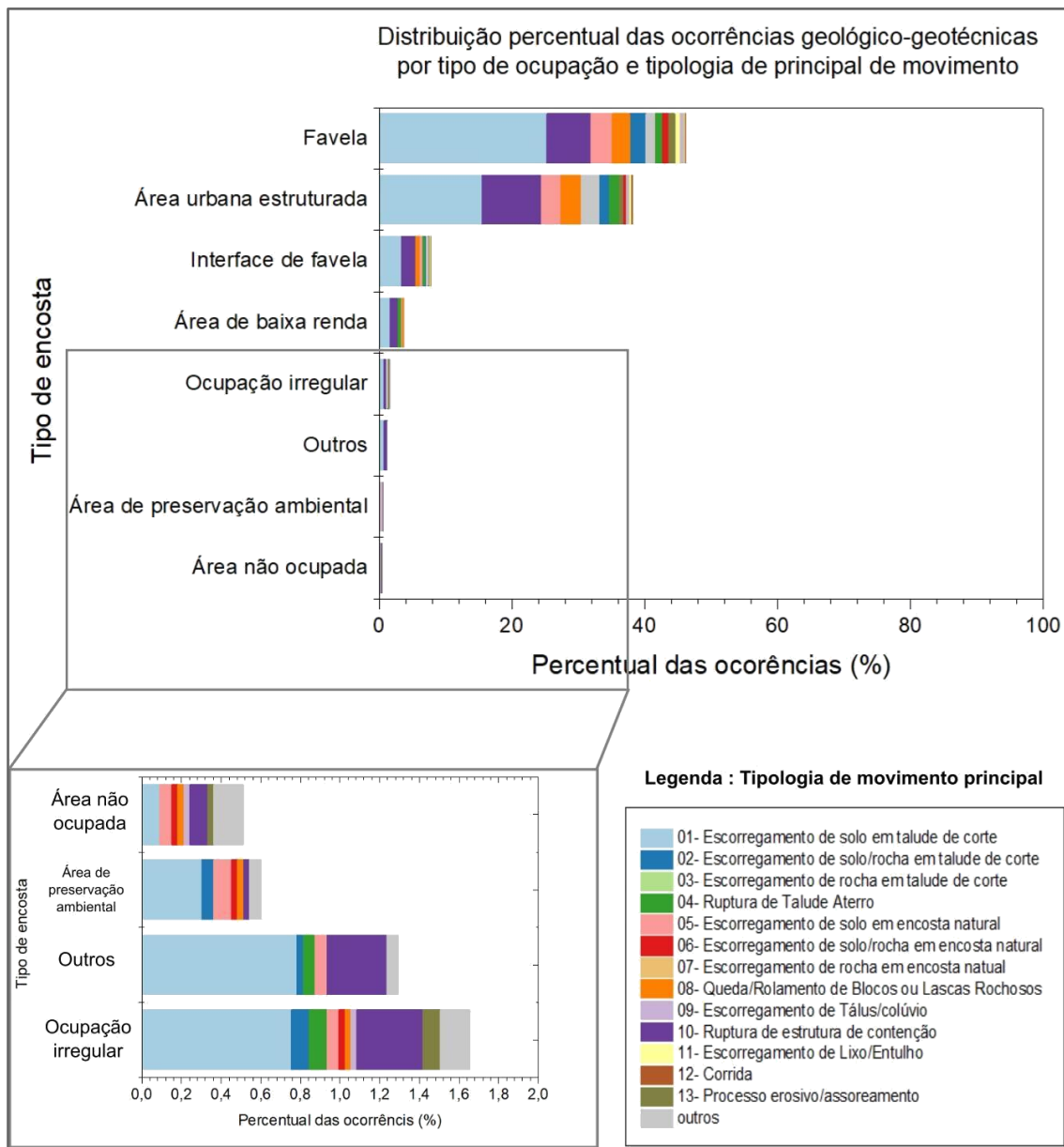


Figura 12 - Gráfico multivariado relacionando o tipo de ocupação à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).

Cabe destacar que, estes dados refletem diretamente a vulnerabilidade imposta pelo padrão de uso e ocupação do solo. A predominância de escorregamentos rasos em áreas de assentamentos precários (favelas) e suas interfaces está intimamente ligada à cultura da autoconstrução empírica. Conforme destacam Carvalho et al. (2007) e Nogueira (2002), a ausência de planejamento urbano nestes setores resulta na execução de cortes verticais inadequados nas bases das encostas, no adensamento excessivo e na falta de sistemas de microdrenagem de águas pluviais e servidas. Esse cenário acelera os processos erosivos e a rápida saturação do manto de intemperismo local, transformando as encostas ocupadas nos principais focos de instabilidade geológico-geotécnica do município

5.2 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e o Tipo de Encosta

A correlação entre a tipologia dos movimentos de massa e o perfil das encostas, ilustrada na Figura 13a, ratifica a predominância de processos de instabilização em taludes artificiais, com ênfase nos taludes de corte. Observa-se que, independentemente do padrão de ocupação local, os escorregamentos de solo em cortes antropogênicos figuram como o principal mecanismo de ruptura, representando 47,8% das ocorrências registradas.

Sob a ótica da mecânica dos solos tropicais, conforme os fundamentos estabelecidos por Barata (1969) e Guidicini e Nieble (1984), a supressão do suporte lateral para a implantação de moradias expõe horizontes de solos residuais não saturados, cuja estabilidade em geometrias quase verticais é garantida temporariamente pela sucção matricial (pressão neutra negativa). Todavia, durante eventos de precipitação intensa, a infiltração de água promove o avanço da frente de saturação, o que resulta na dissipação dessa coesão aparente e na subsequente geração de poropressões positivas. Esse fenômeno reduz drasticamente a resistência do maciço, levando o talude ao colapso por cisalhamento, em conformidade com o modelo descrito por Wolle e Carvalho (1989).

Os processos associados a encostas naturais representam aproximadamente 17% do total analisado, valor significativamente inferior àqueles observados em taludes artificiais. Esse resultado indica que, embora os condicionantes

geológicos e geomorfológicos sejam relevantes, a alteração da geometria original do terreno atua como fator determinante na perda de estabilidade das encostas urbanas.

No que se refere aos taludes de aterro, observa-se que a distribuição das ocorrências é caracterizada pela ruptura de estruturas de contenção (6,74%), seguidas por escorregamentos de solo/rocha em talude de corte (4,24%) e escorregamentos de solo em talude de corte (3,19%). Esse padrão reflete o comportamento geotécnico desfavorável de taludes artificiais, frequentemente caracterizados por heterogeneidade de materiais, compactação inadequada e deficiência de drenagem, condições que favorecem a perda de resistência e o desenvolvimento de mecanismos de ruptura.

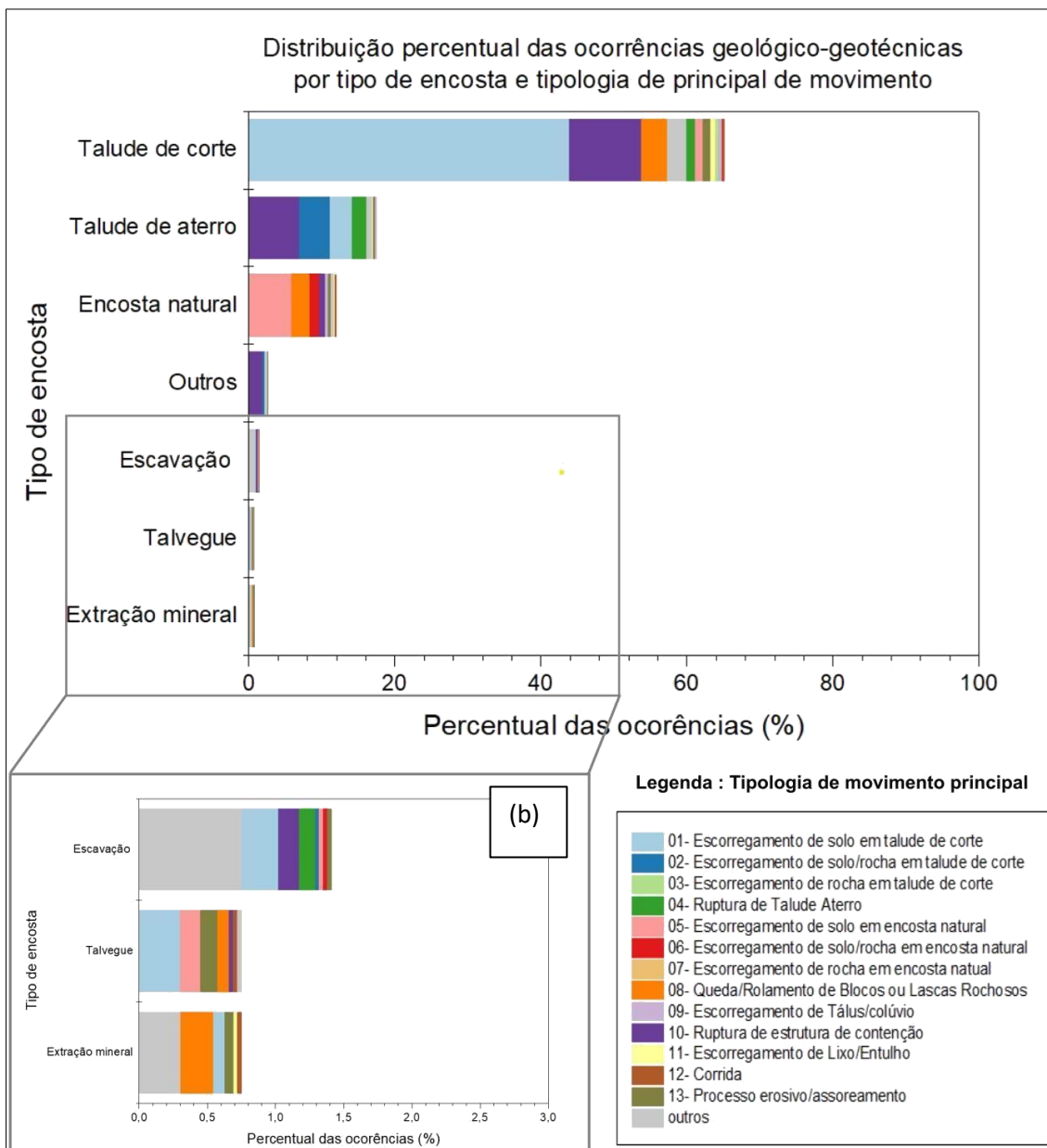


Figura 13 - Gráfico multivariado relacionando o tipo de encosta à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).

No detalhe ampliado do gráfico (Figura 13b), os contextos classificados como escavação, talvegue e extração mineral apresentam percentuais reduzidos de ocorrência, todos inferiores a 2% do total analisado. Essa baixa representatividade numérica, no entanto, não implica irrelevância do ponto de vista geológico e geotécnico, mas reflete a menor extensão espacial desses contextos no território urbano em comparação aos taludes artificiais e encostas naturais amplamente ocupados.

As áreas classificadas como escavação concentram um conjunto relativamente diverso de tipologias, incluindo escorregamentos associados a cortes artificiais, rupturas de estruturas de contenção e ocorrências enquadradas na classe

“outros”. Do ponto de vista geotécnico, esse comportamento indica ambientes caracterizados por condições de contorno altamente modificadas, com geometrias instáveis, alívio de tensões e exposição de perfis de solo residual ou de rocha alterada, frequentemente sem a adoção de soluções adequadas de estabilização e drenagem.

Nos talwegues, os registros são esparsos e pouco representativos no conjunto analisado, o que sugere que, no contexto urbano do município, os processos de instabilização associados a esses ambientes ocorrem de forma mais localizada ou estão sub-representados nos atendimentos analisados. Ainda assim, do ponto de vista geomorfológico, os talwegues constituem zonas naturais de convergência de fluxos superficiais e subsuperficiais, podendo atuar como áreas de concentração de tensões hidrológicas e de reativação pontual de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente durante eventos de precipitação intensa.

Em contraste, nas áreas de extração mineral, embora o número absoluto de registros seja reduzido, observa-se predominância da tipologia queda e rolamento de blocos rochosos, o que é coerente com o contexto geológico e geotécnico dessas áreas. Esses processos estão diretamente associados à criação e reativação de planos de descontinuidade em maciços rochosos, decorrentes de detonações com explosivos, vibrações induzidas e escavações sucessivas, características típicas de frentes de lavra e pedreiras. Do ponto de vista da mecânica das rochas, tais intervenções promovem a redução do confinamento lateral, o aumento da persistência e da abertura de fraturas e a diminuição da resistência ao cisalhamento ao longo das descontinuidades, favorecendo a instabilização por queda ou rolamento de blocos. Nesse sentido, ainda que pouco frequentes no conjunto geral das ocorrências, os processos associados à extração mineral apresentam elevado potencial de risco localizado, especialmente quando essas áreas se encontram próximas a setores urbanizados ou a vias de circulação, exigindo abordagens específicas de monitoramento e controle geotécnico.

5.3 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e a Litologia

Sob a ótica geológica e geotécnica, observa-se que a distribuição das ocorrências por litologia reflete, em grande medida, a predominância espacial das unidades geológicas no município, com destaque para os terrenos gnáissicos e graníticos, nos quais se concentram os maiores percentuais de registros, figura 14.

A relação entre a tipologia principal de movimento e as unidades geológicas (Figura 14a) indica que a distribuição das ocorrências acompanha, em grande medida, a predominância espacial das litologias no município do Rio de Janeiro. Destacam-se as unidades Biotita Gnaiss, Gnaiss migmatítico, Gnaiss facoidal e Granito Cinza Porfírico, que concentram os maiores percentuais de registros e correspondem às principais unidades aflorantes nos maciços do município. Nessas unidades, observa-se o predomínio dos escorregamentos de solo em talude de corte, com participações de 10,22%, 9,4%, 6,9% e 5,1% do total geral, respectivamente. Esse comportamento é consistente com o contexto geológico dessas litologias, caracterizadas por mantos de alteração, solos residuais heterogêneos, sob forte controle estrutural herdado da rocha sã. Quando esses materiais são submetidos a cortes artificiais, ocorre a exposição de perfis de solo residual que, em condição natural, apresentam-se não saturados. No entanto, a adição de água, especialmente durante eventos de precipitação intensa, promove a elevação do grau de saturação, alterando significativamente o comportamento mecânico do material e favorecendo a redução da resistência ao cisalhamento.

Vale ressaltar que do ponto de vista geotécnico, a associação entre solos residuais derivados de rochas gnáissicas e graníticas, presença de descontinuidades estruturais (foliações, fraturas e zonas de cisalhamento) e cortes com geometrias íngremes favorece a redução da resistência ao cisalhamento ao longo de superfícies preferenciais, resultando na recorrência de escorregamentos rasos e localizados. Esse comportamento explica a elevada participação dessa tipologia nas unidades litológicas dominantes.

Observa-se ainda participação relevante das rupturas de estruturas de contenção nessas mesmas unidades geológicas, o que indica que os

mecanismos de instabilização não podem ser atribuídos exclusivamente a falhas de projeto ou execução. Em muitos casos, as soluções implantadas passam a operar em condições distintas daquelas originalmente previstas, em função de alterações no uso do solo, ausência ou deficiência de manutenção, modificações na drenagem e, frequentemente, da introdução de novas sobrecargas, como ampliações de edificações ou construções realizadas sobre ou a montante das estruturas.

Do ponto de vista geotécnico, esse comportamento evidencia que o desempenho das obras de contenção está diretamente condicionado à evolução do contexto de ocupação e às mudanças nas condições de contorno ao longo do tempo. Assim, a instabilidade observada não se restringe ao comportamento do maciço natural, mas resulta da interação entre geologia, estruturas de estabilização e intervenções sucessivas no ambiente urbano, reforçando o caráter dinâmico e progressivo dos processos de instabilidade de encostas.

Por fim, litologias de ocorrência espacial restrita, como Dunas, Aterro, Quartzito gabro e Quartzito Diorito, apresentam percentuais inferiores a 0,5% (Figura 14b), não permitindo a identificação de padrões tipológicos estatisticamente representativos.

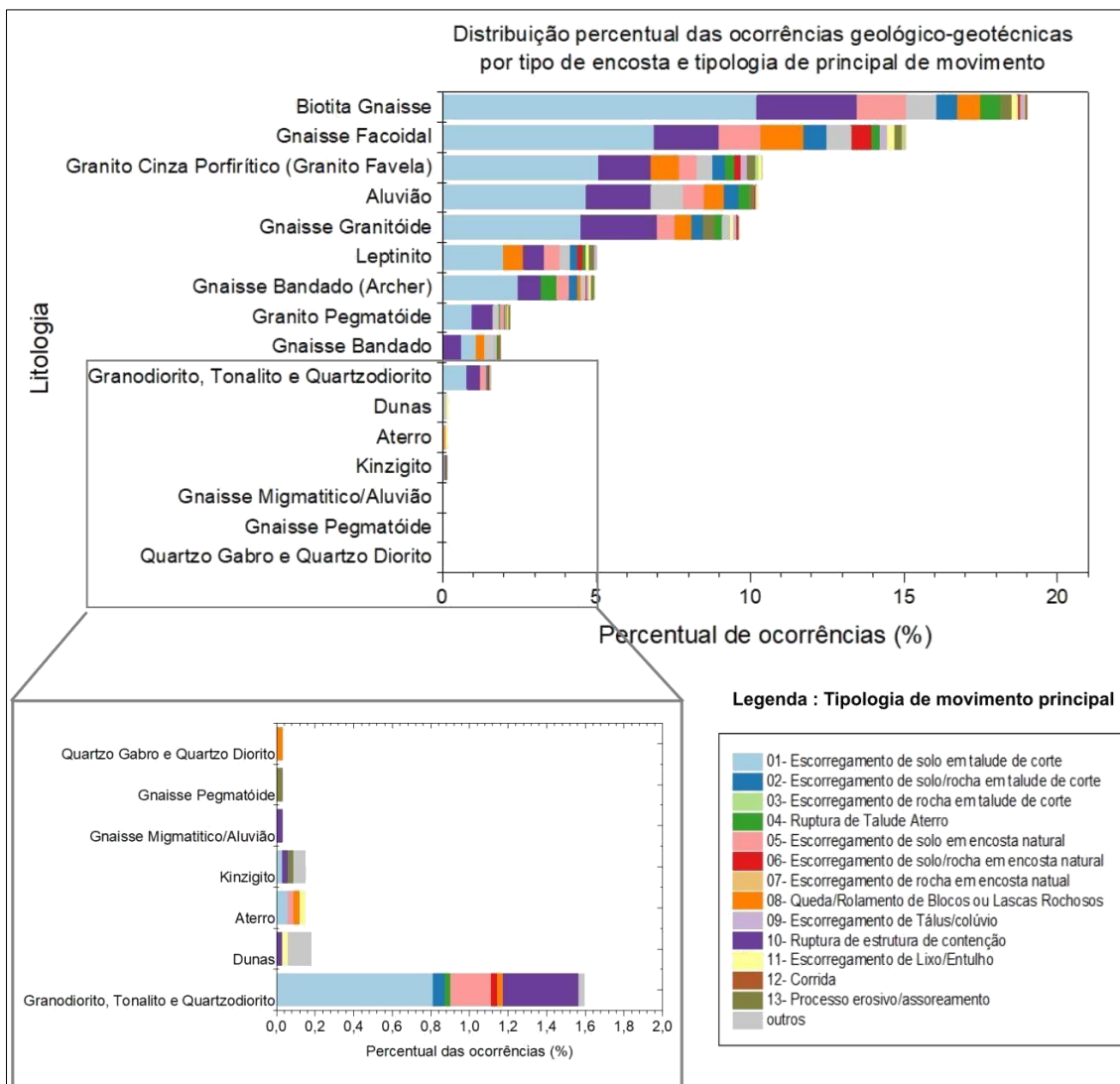


Figura 14 - Gráfico multivariado relacionando a geologia à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 2% (b).

5.4 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e a Categoria de Volume Mobilizado

A análise da relação entre a tipologia principal de movimento e a categoria de volume mobilizado (Figura 15a) evidencia o predomínio de episódios de instabilidade de pequeno volume, classificados na categoria A (0 a 10 m³), que representam metade das ocorrências registradas no período analisado.

Nessa categoria, destacam-se os escorregamentos de solo em talude de corte (24,9%), seguidos pelas rupturas de estruturas de contenção (9,3%) e pelas quedas e rolamentos de blocos rochosos (4,5%). Esse padrão indica que os processos mais frequentes são, em sua maioria, rupturas superficiais frequentemente associadas à saturação do solo, à deficiência de drenagem

superficial e à alteração das condições de equilíbrio impostas por cortes artificiais. Embora esses eventos sejam individualmente de pequena magnitude, sua elevada frequência confere relevância significativa no contexto da gestão do risco, especialmente quando associados à presença de edificações, vias de circulação e redes de infraestrutura. A recorrência de processos de pequeno volume reflete um estado crônico de instabilidade em diversos setores do município, mais do que a ocorrência esporádica de eventos extremos.

A categoria B (11 a 100 m³) apresenta distribuição tipológica semelhante, porém com redução significativa do percentual total de ocorrências, no entanto a tipologia Escorregamento de solo em encosta natural ocupa o terceiro lugar na distribuição (3%), revelando maior participação de condições geológicas intrínsecas ao material.

Nas categorias C (101 a 1.000 m³) e D (>1.000 m³), os percentuais tornam-se residuais, correspondendo a aproximadamente 3% e 0,48%, respectivamente (figura 15b), não apresentando representatividade significativa com relação aos percentuais do total analisado. Em particular, os eventos classificados na categoria C estão associados a uma maior diversidade tipológica, com participação mais expressiva de escorregamentos em encosta natural, escorregamentos de solo/rocha e corridas. Esses processos refletem mecanismos de instabilização mais profundos e complexos, geralmente vinculados a condições geológicas desfavoráveis, como maior espessura do manto de alteração, presença de descontinuidades, elevação significativa do nível de saturação, fatores que favorecem a mobilização de volumes mais expressivos de material.

Destaca-se que os eventos da categoria D, embora raros, estão associados a situações pontuais de elevada severidade, nas quais a combinação entre condições geológicas desfavoráveis e episódios de precipitação intensa e prolongada, capazes de promover elevada saturação do maciço, resulta na mobilização de grandes volumes de material, com potencial de impacto elevado, ainda que de ocorrência pouco frequente no período analisado.

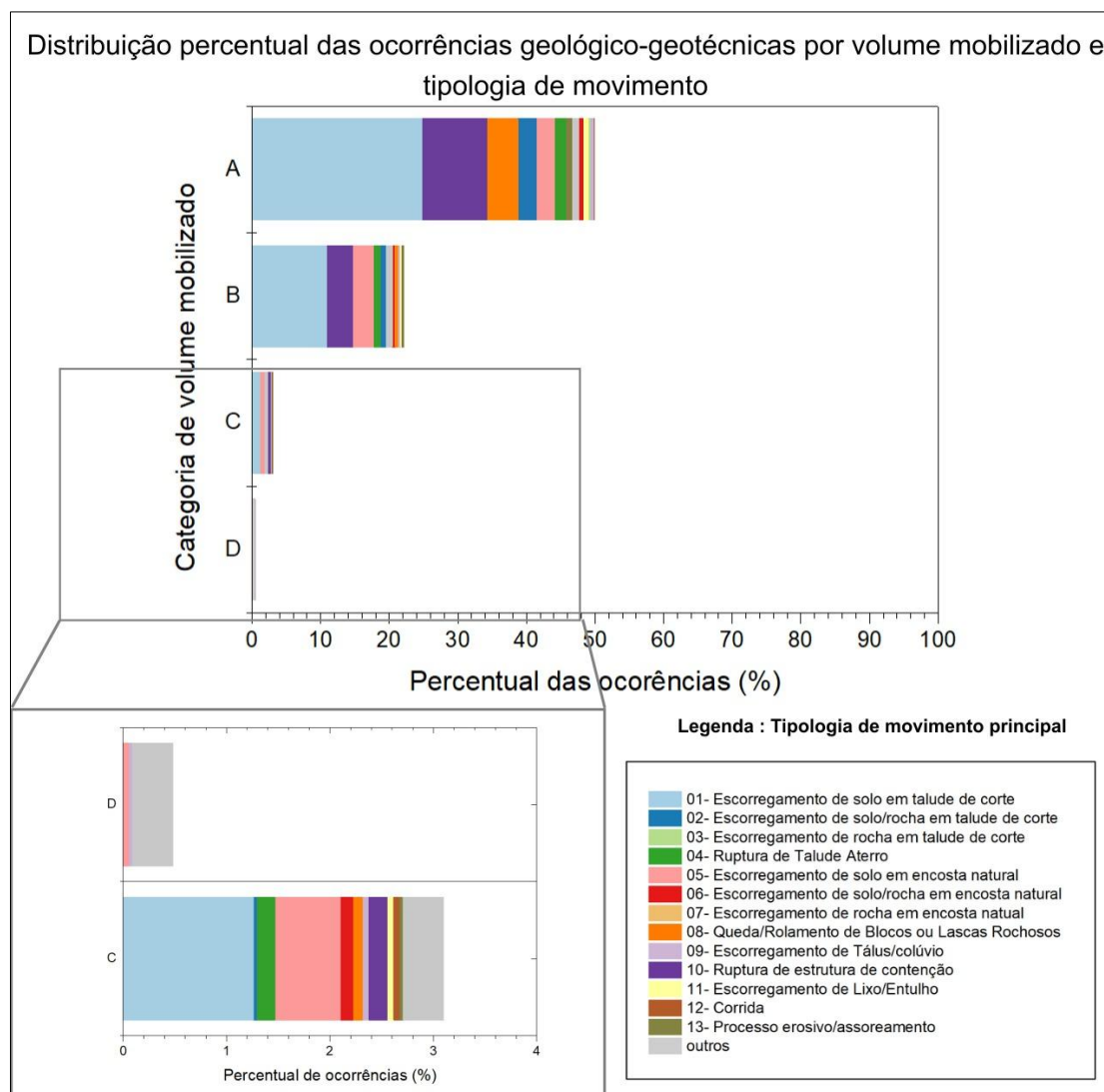


Figura 15 - Gráfico multivariado relacionando o volume mobilizado à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 4% (b).

5.4 Correlação entre a Tipologia Principal de Movimento e Grau de Risco

A análise integrada entre a tipologia principal de movimento e o respectivo grau de risco, detalhada na Figura 16, corrobora as interpretações anteriores ao demonstrar a concentração das ocorrências em áreas classificadas como de Risco Alto. Neste cenário, predominam os escorregamentos de solo em taludes de corte (26,99%), seguidos por rupturas de estruturas de contenção (9,87%) e quedas ou rolamentos de blocos rochosos (2,56%). Esse padrão indica que os setores críticos do município estão intrinsecamente ligados a processos recorrentes que, embora mobilizem volumes de pequena a média magnitude, apresentam elevado potencial de dano devido à alta vulnerabilidade e à

supressão dos recuos de segurança frente aos elementos expostos, como edificações e infraestruturas urbanas.

No Risco Médio, observa-se a manutenção do domínio dos escorregamentos em taludes de corte (16,58%), acompanhados por colapsos no sistema solo-estrutura (substituindo "rupturas estruturais") (7,31%) e processos envolvendo blocos rochosos (3,22%). Ainda que a dinâmica dos processos guarde semelhança com a classe de risco superior, o potencial de impacto imediato é atenuado pela menor magnitude dos eventos ou pelo contexto de ocupação. Já no Risco Baixo, as ocorrências são significativamente reduzidas e dispersas, com os escorregamentos em cortes representando apenas 3,67% do total, o que reforça o caráter localizado e a menor severidade desses episódios.

De modo geral, a distribuição dos registros evidencia que a quase totalidade dos eventos se concentra nas classes de Risco Alto e Médio. Os dados revelam um paradoxo central na geotecnia urbana: a mobilização de volumes reduzidos, frequentemente inferiores a 10 m³, é capaz de gerar altos índices de risco e letalidade. Conforme discutido por D'Orsi et al. (2013) e Fernandes e Amaral (1996), em encostas íngremes e irregulares, marcados por adensamento urbano precário, a severidade dos desastres não depende necessariamente de movimentos profundos. A elevada letalidade desses deslizamentos rasos, induzidos por cortes locais, é explicada pela ausência de zonas de amortecimento (*runout*); a massa mobilizada atinge de forma imediata as edificações a jusante, que carecem de capacidade estrutural para resistir aos esforços dinâmicos impostos pelo impacto.

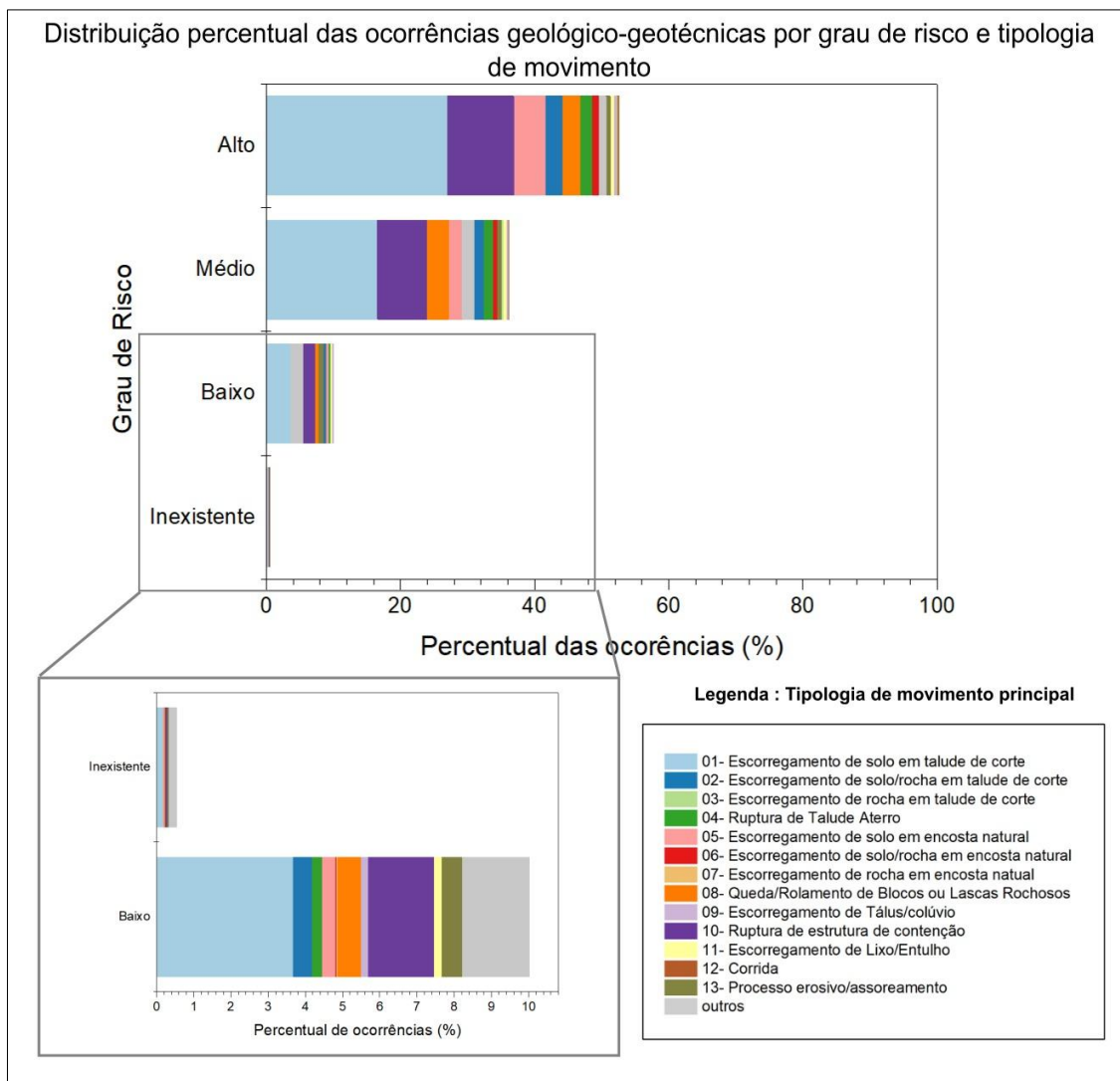


Figura 16 - Gráfico multivariado relacionando o Grau de risco à tipologia principal de movimento (a) com recorte de zoom para as combinações menores que 10% (b).

5.5 Discussão Técnica

Os resultados obtidos a partir da análise das ocorrências geológico-geotécnicas no período de 2010 a 2018 são compatíveis com os modelos conceituais clássicos de instabilização de encostas em ambientes tropicais urbanizados. Ao mesmo tempo, evidenciam especificidades associadas ao processo histórico de ocupação e transformação do relevo urbano, onde a ação antrópica tem predominado em detrimento das causas naturais. O predomínio dos escorregamentos de solo em taludes de corte, observado de forma recorrente em praticamente todas as variáveis analisadas, reflete a redução significativa do fator de segurança decorrente da modificação da geometria natural das encostas, com aumento da declividade e exposição de perfis de solo.

Em solos residuais tropicais, como os desenvolvidos sobre gnaisses e granitos predominantes no município do Rio de Janeiro, a resistência ao cisalhamento é fortemente condicionada pelo estado de saturação. O aumento da poropressão durante eventos de chuva intensa reduz a resistência efetiva do solo, favorecendo a ocorrência de rupturas rasas e translacionais, especialmente em taludes de corte sem sistemas adequados de drenagem superficial e profunda. Esse mecanismo explica a elevada frequência de eventos de pequeno volume, porém recorrentes, observados ao longo do período analisado.

A concentração de 39% das ocorrências no ano de 2010 corrobora a dinâmica dos limiares pluviométricos críticos estabelecidos classicamente por Tatizana et al. (1987) para a Serra do Mar e consolidados para o Sudeste brasileiro. Conforme discutido especificamente para o Rio de Janeiro por D’Orsi (2011) e Azevedo (2011), escorregamentos rasos resultam da combinação entre a precipitação acumulada antecedente, que eleva a umidade prévia do maciço, e a intensidade horária do evento principal. Durante as chuvas extremas de abril de 2010, a rápida elevação das pressões neutras superou a resistência ao cisalhamento dos solos, resultando na instabilização generalizada observada.

A expressiva participação das rupturas de estruturas de contenção (19,2%) indica que a instabilidade das encostas urbanas não pode ser atribuída exclusivamente ao comportamento do maciço natural. Em muitos casos, as obras de estabilização passam a operar em condições distintas daquelas originalmente previstas em projeto. Fatores como a ausência crônica ou deficiência de manutenção, modificações nos sistemas de drenagem e alterações no uso do solo culminam na retenção de água e na consequente elevação das pressões neutras no maciço, gerando empuxos hidrostáticos não previstos que conduzem a estrutura ao colapso (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). Somado a isso, a introdução de novas sobrecargas, como ampliações de edificações a montante ou sobre as próprias estruturas, esgota rapidamente o fator de segurança da contenção. Conjuntamente, esses fatores evidenciam o caráter dinâmico e progressivo do sistema encosta–obra–ocupação e reforçam que o desempenho das soluções geotécnicas está diretamente condicionado à evolução contínua das condições de contorno ao longo do tempo (FELL et al., 2008; FUNDAÇÃO GEO-RIO, 2022).

Nas encostas naturais e eventos de maior volume (Categorias C e D), observa-se maior diversidade tipológica e mecanismos mais profundos, associados a descontinuidades estruturais no maciço rochoso. Embora menos frequentes, esses eventos apresentam elevado potencial de impacto. De forma geral, conforme as análises de Fernandes e Amaral (1996), a recorrência de processos de pequena magnitude em áreas de alta vulnerabilidade, como as favelas (46% das ocorrências), configura um estado de instabilidade crônica onde a severidade do desastre é ampliada pela ausência de zonas de amortecimento (*runout*) e pela proximidade imediata dos elementos expostos.

Essa recorrência de escorregamentos de pequena a média magnitude em áreas densamente ocupadas resulta em um significativo potencial de dano acumulado. Conforme discutido por D'Orsi et al. (2013), a severidade desses episódios é agravada pela exposição urbana, o que faz com que mesmo volumes reduzidos atinjam diretamente as edificações a jusante. Nesse contexto, a carência de monitoramento sistemático e de manutenção contínua contribui para a reativação sucessiva de processos, ampliando o risco geológico-geotécnico ao longo do tempo.

Em síntese, os resultados indicam que a dinâmica de instabilidade das encostas no município do Rio de Janeiro é um processo cumulativo e progressivo, resultante da interação sinérgica entre condicionantes naturais (geológicos, geotécnicos e geomorfológicos) e as intensas modificações impostas pelas intervenções antrópicas e padrões de ocupação urbana. Tal cenário reforça que a segurança das encostas exige uma gestão de risco técnica, permanente e interdisciplinar, fundamentada na evolução contínua das condições de contorno (FELL et al., 2008; FUNDAÇÃO GEO-RIO, 2022)

6. CONCLUSÃO

A análise estatística das ocorrências registradas entre 2010 e 2018 evidenciou uma clara concentração de eventos em regiões de elevado adensamento urbano, notadamente em favelas, suas interfaces e áreas urbanas estruturadas. O predomínio de movimentos de massa e de rupturas em estruturas de

contenção, muitas vezes executadas de forma particular e sem o devido embasamento técnico, associados a taludes de corte, reforça que a ação antrópica é o principal fator de agravamento da instabilidade das encostas no município. A elevada proporção de registros classificados como de Alto Risco (52,6%) sublinha a urgência de intervenções e monitoramento nessas áreas.

Verificou-se ainda que a maior parte dos eventos (49,9%) está associada a volumes mobilizados reduzidos (Categoria A), característica típica de rupturas rasas e recorrentes. Embora individualmente de pequena magnitude, esses processos assumem elevada relevância no contexto urbano devido à sua frequência e à proximidade com edificações, vias e redes de infraestrutura. Ressalta-se que a estimativa do volume mobilizado pode apresentar incertezas em função de lacunas ou limitações de informação nos laudos analisados, aspecto que deve ser considerado na interpretação dos resultados.

Os resultados deste estudo reforçam a importância de estratégias de prevenção integrada à manutenção e monitoramento contínuo para ampliar o entendimento das dinâmicas de instabilização das encostas no município e oferecem subsídios técnicos que podem apoiar tanto o planejamento preventivo quanto a definição de estratégias de mitigação de riscos geotécnicos.

Em síntese, a gestão do risco em encostas urbanas deve ser compreendida como um processo permanente, técnico e interdisciplinar, fundamentado no entendimento dos mecanismos de instabilização, na integração entre planejamento urbano e geotecnia e na adoção de políticas públicas que priorizem a prevenção e a mitigação dos riscos de forma contínua e estruturada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, G. F.** *Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil*. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.
- BARATA, F. E.** Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, v. 2, p. 507-516, México, 1969.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T.** (Orgs.). *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.
- COELHO NETTO, A. L. et al.** January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. In: *Proceedings of the Second World Landslide Forum*, Roma, Itália, 2011.
- COSTA NUNES, A. J.** Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, v. 2, p. 547-554, México, 1969.
- D'ORSI, R. N.** *Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ*. 2011. 287 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- D'ORSI, R. N.; MAGALHAES, M. A.; COELHO, R. S.; PAES, N. M.; COSTA, L. C.** Análise dos Escorregamentos em Encostas do Município do Rio de Janeiro Deflagrados por Chuvas Intensas no Ano de 2010. In: *VI Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas*, 2013, Angra dos Reis. Anais da VI COBRAE. p. 453-460, 2013.
- FELL, R. et al.** Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P.** Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194, 1996.
- FUNDAÇÃO GEO-RIO.** *Manual Técnico de Encostas*. Rio de Janeiro, 2022.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M.** *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo: Edgard Blücher / Ed. da Universidade de São Paulo, 1984.
- GUZZETTI, F. et al.** Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, v. 112, p. 42–66, 2012.
- NOGUEIRA, F. R.** *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal*. 2002. 260 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2002.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, São Paulo: ABGE, v. 2, p. 225-236, 1987.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. *Solos e Rochas*, v. 12, p. 27-36, 1989.



GEO-Rio