

Análise da Vulnerabilidade aos Deslizamentos de Terra em Vilas, Favelas e Conjuntos Habitacionais do Município de Belo Horizonte Frente às Mudanças Climáticas

Pedro França Araújo de Melo

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, pedrofmelo@ufmg.br

Talita Caroline Miranda

Docente no Departamento de Transportes e Geotecnia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, talita@etg.ufmg.br

Rayane Caroline de Freitas Ramos

Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, rayaneramos@ufmg.br

Mariana Sigolo Figueiredo

Graduanda em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, mfsigolo@ufmg.br

RESUMO: Este estudo visa avaliar a vulnerabilidade ao risco de deslizamentos de terra em vilas, favelas e conjuntos habitacionais de Belo Horizonte, bem como examinar os registros de ocorrência de deslizamentos nos últimos anos, dado o aumento da frequência de chuvas extremas. Para isso, foram tratados e analisados os dados contidos nas planilhas fornecidas pela Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (URBEL), referentes às vistorias realizadas durante o período de 2014 a 2022 através do Programa Estrutural em Áreas de Risco (PEAR). A análise das planilhas considerou aspectos como localização, distribuição ao longo dos anos, distribuição em relação aos níveis de risco geológico-geotécnico, ocorrência de deslizamentos, população abrangida, pareceres determinados e obras executadas como medidas adaptativas e preventivas. Constatou-se que, dentre os movimentos de massa registrados, os escorregamentos planares foram os mais comuns, representando 90% dos registros analisados. Percebeu-se também que cerca de 30% das pessoas que vivem em áreas de risco são crianças. Além disso, foi constatada uma associação estatisticamente significativa entre os pareceres determinados pelos vistoriadores e o registro de ocorrência de deslizamento nos locais vistoriados, bem como entre o registro de ocorrência de deslizamento e o nível de risco geológico-geotécnico. Essa correlação evidenciou a eficácia da classificação realizada pelos vistoriadores ao avaliar o nível de risco geológico-geotécnico nos locais vistoriados pela URBEL-BH.

PALAVRAS-CHAVE: Deslizamentos de Terra, Risco Geológico, Vistorias, Vulnerabilidade.

ABSTRACT: This study aims to assess the vulnerability to landslide risks in villages, slums, and housing complexes located in Belo Horizonte, as well as examine the records of landslide occurrences in recent years. To achieve this, data from spreadsheets provided by the Urbanization and Housing Company of Belo Horizonte (URBEL) were processed and analyzed, referring to inspections carried out from 2014 to 2022 through the Structural Program in Risk Areas (PEAR). The analysis of the spreadsheets considered aspects such as location, distribution over the years, distribution in relation to geological-geotechnical risk levels, landslide occurrences, affected population, determined recommendations, and implemented adaptive and preventive measures. It was observed that, among the recorded mass movements, planar landslides were the most common, representing 90% of the analyzed records. It was also found that around 30% of people living in risk areas are children. Furthermore, a statistically significant association was found between the recommendations provided by inspectors and the recorded landslide occurrences at the inspected sites, as well as between landslide occurrences and geological-geotechnical risk levels. This correlation demonstrated the effectiveness of the classification carried out by the surveyors when evaluating the level of geological-geotechnical risk in the locations inspected by URBEL-BH.

KEYWORDS: Landslides, Geological Risk, Inspections, Vulnerability.

1 INTRODUÇÃO

Uma considerável parcela da população residente nas grandes cidades do Brasil habita em vilas, favelas e conjuntos habitacionais localizados em encostas íngremes, sujeitas a diversas formas de risco geológico-geotécnico. O cenário não é diferente na cidade de Belo Horizonte. A ocupação irregular dessas áreas, juntamente com as características morfogeológicas do município, resulta em situações de risco, principalmente durante o período chuvoso, que compreende os meses de outubro a março (Campos, 2011). Ademais, o município de Belo Horizonte aparece em quarto lugar no ranking de proporção de pessoas vivendo em áreas de risco no país, com 16,4% da sua população, totalizando aproximadamente 390 mil domicílios construídos em áreas de risco, de acordo com o relatório “Populações em áreas de risco no Brasil” do IBGE e do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, do ano de 2018.

Diante dessas circunstâncias, o Programa Estrutural em Áreas de Riscos (PEAR) foi estabelecido em julho de 1993, quando a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte começou a monitorar a situação das regiões com perigo geológico-geotécnico em vilas, favelas e conjuntos habitacionais do município. O PEAR tem como objetivo realizar diagnósticos, prevenir, controlar e reduzir situações de risco geológico-geotécnico, estruturando e revitalizando áreas que se encontram em situações de risco, com o intuito de diminuir a incidência de acidentes e garantir a segurança dos moradores envolvidos (Campos, 2011).

2 OBJETIVO

O presente artigo tem como objetivo avaliar a situação das vilas, favelas e conjuntos habitacionais do município de Belo Horizonte em relação à vulnerabilidade ao risco de deslizamentos de terra, bem como examinar os registros de ocorrência de deslizamentos nos últimos anos, tendo em vista o aumento da frequência de chuvas extremas. Este estudo se baseará na análise das fichas de vistorias efetuadas pelo Programa Estrutural em Áreas de Risco (PEAR), cujos dados encontram-se compilados em planilhas que foram disponibilizadas pela URBEL (Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte).

3 METODOLOGIA

Com base nas informações apresentadas anteriormente, será realizado o levantamento e a análise de dados, dividida em duas etapas:

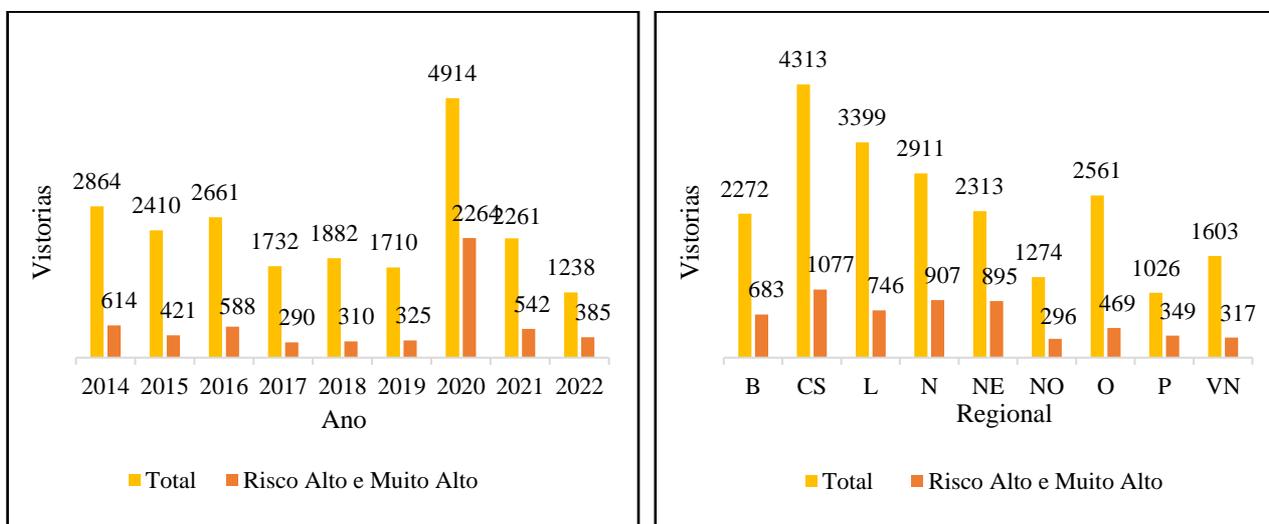
- Foi analisado o conjunto de planilhas fornecidas pela URBEL (2023), referentes às vistorias realizadas no período de 2 de janeiro de 2014 à 14 de fevereiro de 2022. Apesar de haver dados apenas até a metade do mês de fevereiro, considerou-se o ano de 2022 nas análises, visto que esses dois meses apresentaram uma grande quantidade de registro de vistorias, alcançado um valor de 70% da totalidade do número de registros do ano de 2017, por exemplo. O conjunto de arquivos tratados e analisados consta de nove planilhas, divididas por ano, em que as vistorias registradas com informações preenchidas totalizam 21672 registros, contendo informações relevantes para análises, tais como: número (código) da vistoria, data de realização, nome do bairro popular e regional de Belo Horizonte, número de moradores, número de crianças, nível de risco geológico-geotécnico do local, data de ocorrência e tipo de deslizamento (se ocorrido), tipo de obra de adaptação (se realizada) e, por fim, o parecer final determinado pelos vistoriadores. Para a análise quantitativa das vistorias, em relação à sua distribuição ao longo dos anos e das regionais de Belo Horizonte, todos os 21672 registros foram analisados. Após o tratamento inicial dos dados excluindo algumas duplicidade de dados e agrupando os eventos que ocorreram mas atingiram mais que uma moradia, o número de registros caiu para 2083.
- Na segunda parte do estudo referente à análise de dados, foram realizadas as análises estatísticas utilizando o programa estatístico STATA, versão 14.2. As variáveis categóricas foram tabuladas em frequências absolutas e percentuais, e, para cada uma dessas análises, foram removidas no programa as linhas do banco de dados que apresentaram a célula em branco, referente à coluna da categoria analisada, denominadas “missings”. Além disso, será adotado o nível de confiança de 95%, com o intuito de fornecer os intervalos de confiança de 95% para as análises de proporções. Desse modo,

foram apresentadas as frequências e proporções, em relação à totalidade do banco de dados, das categorias das seguintes variáveis: nível de risco geológico-geotécnico, pareceres e registro de ocorrência de deslizamentos. Por fim, com o propósito de investigar a possível associação entre duas variáveis e compreender se existe uma relação significativa entre elas, foram apresentadas tabelas de contingência. Para isso, foram removidas do banco de dados todas as linhas referentes às vistorias que não possuem algum registro de ocorrência de deslizamento no local vistoriado, formando um novo banco de dados com um total de 3186 registros. Posteriormente, para a análise bivariada, será utilizado o teste qui-quadrado de Pearson, considerando-se um nível de significância para $p < 0,001$. Desta forma, será possível avaliar de forma estatisticamente relevante a relação entre as seguintes combinações de variáveis: registro de ocorrência de deslizamentos e nível de risco geológico-geotécnico; registro de ocorrência de deslizamentos e pareceres.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

5.1 Análise das Planilhas

A análise dos 21672 registros de vistorias revelou informações interessantes sobre sua distribuição ao longo dos anos de 2014 a 2022, como demonstrado na Figura 1, que também apresenta a distribuição dessas vistorias entre as nove regionais de Belo Horizonte. Ambos os gráficos não apenas mostram o número total de registros por ano e regional, mas também a proporção de vistorias classificadas com risco geológico-geotécnico alto ou muito alto.



a) Número total de vistorias realizadas por ano.

b) número total de vistorias realizadas por regional.

Figura 1. Número total de vistorias realizadas por ano e por regional entre 2014 a 2022.

Quanto à localização desses deslizamentos, como evidenciado na Figura 2, é possível observar uma concentração maior nas regionais Leste (L) e Centro-Sul (CS), seguidas pelas regionais Norte (N) e Nordeste (NE). Por outro lado, as regionais Pampulha (P), Oeste (O) e Venda Nova (VN) apresentaram os menores números de registros de deslizamentos. Em todas as regionais, os escorregamentos planares representaram a grande maioria dos casos, totalizando 90% dos registros.

Em relação aos deslizamentos, as vistorias registram se ocorreu algum tipo de deslizamento no local vistoriado e, caso sim, sua data de ocorrência. Caso tenha sido observada a ocorrência de algum deslizamento, os vistoriadores identificam o tipo do movimento de massa ocorrido, classificando-o como "escorregamento circular", "escorregamento em cunha", "escorregamento planar" ou "rolamento / tombamento / queda de blocos".

No que tange à análise da população residente nos locais vistoriados, as planilhas das vistorias apresentam apenas informações referentes ao número total de moradores e ao número de crianças nos respectivos locais. Pôde-se observar que a maioria dos locais vistoriados apresenta entre 2 e 4 moradores,

demonstrando uma média de 3,77 moradores por local vistoriado. A partir da análise do número de crianças por local vistoriado, destaca-se que 55% dos locais vistoriados apresentaram pelo menos uma criança morando no local. Na Figura 3 é apresentada a proporção de crianças em relação ao número total de moradores em áreas classificadas como risco geológico-geotécnico alto ou muito alto.

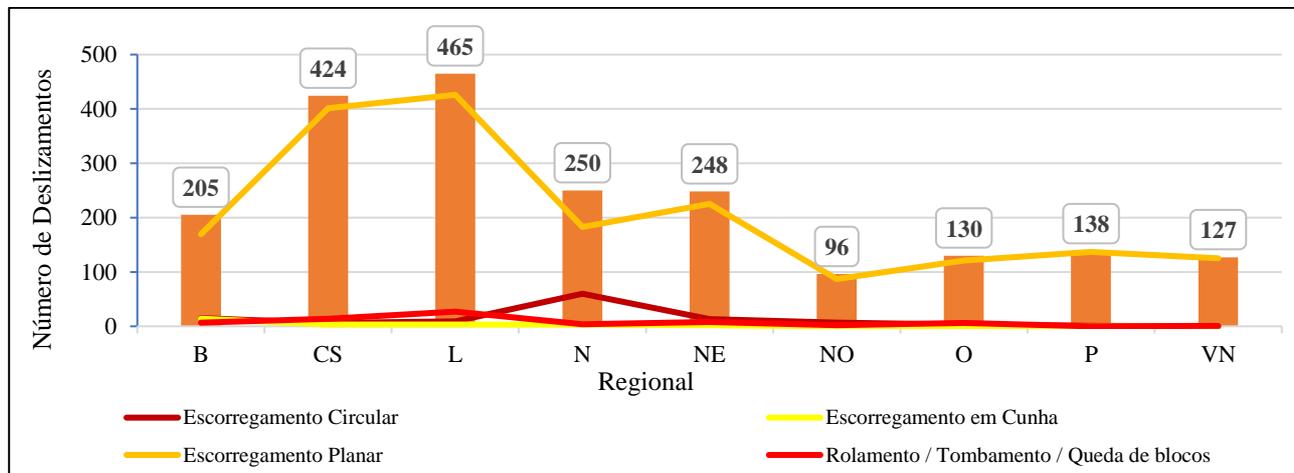


Figura 2. Distribuição do número de deslizamentos registrados em cada regional.

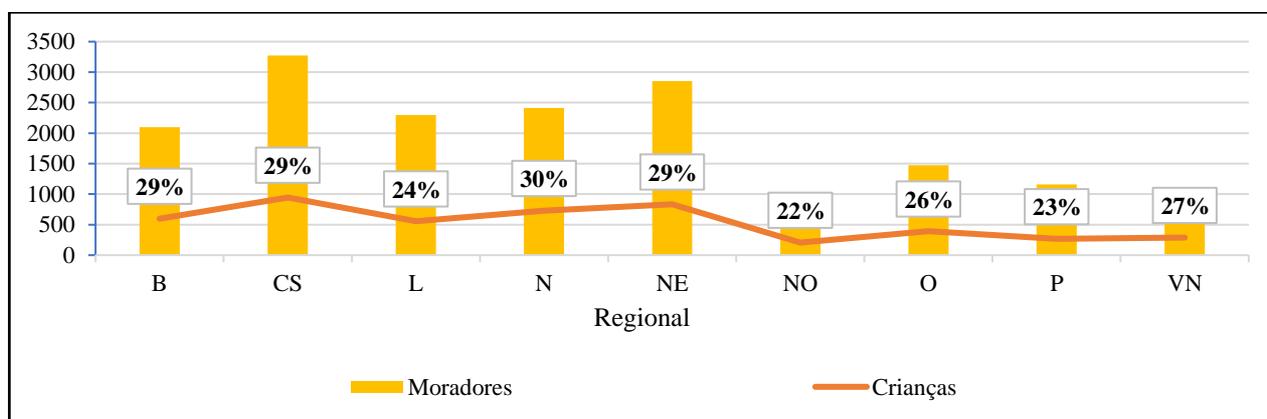


Figura 3. Proporção de crianças em relação ao total de moradores em áreas de risco geológico-geotécnico alto ou muito alto.

No decorrer das análises notou-se que alguns aglomerados urbanos aparecem repetidamente entre os mais vistoriados, os que foram classificados com risco geológico-geotécnico alto ou muito alto com maior frequência e os com maior número de vistorias que registraram a ocorrência de algum deslizamento no local. Esse é o caso do Conjunto Taquaril, dos bairros Nossa Senhora de Fátima, Granja Werneck, Jardim Alvorada e Vila Barragem Santa Lúcia, e da favela Cabana do Pai Tomás. A localização desses aglomerados urbanos é apresentada na Figura 4.

No que diz respeito aos tipos de pareceres determinados pelos vistoriadores, eles podem ser classificados em três categorias: monitoramento pelo morador, indicação de remoção temporária ou indicação de remoção definitiva. A partir das análises realizadas, percebeu-se que nos locais classificados com risco geológico-geotécnico alto ou muito alto, dentre todos os pareceres determinados pelos vistoriadores, a maioria foi de "monitoramento pelo morador", representando 62% dos registros. Em segundo lugar, com 32% dos casos, estão as indicações de remoção temporária durante o período chuvoso, quando obras adaptativas podem ser realizadas, se necessário. Por fim, há as indicações de remoção definitiva, totalizando 6% dos casos de vistorias classificadas com risco geológico-geotécnico alto ou muito alto.

Quanto às obras realizadas como medidas adaptativas e preventivas nos locais vistoriados, pode-se observar que a URBEL prioriza a construção de muros padrão (72%), seguido de Drenagem (15%), reforço estrutural e outras tipos de contenções.

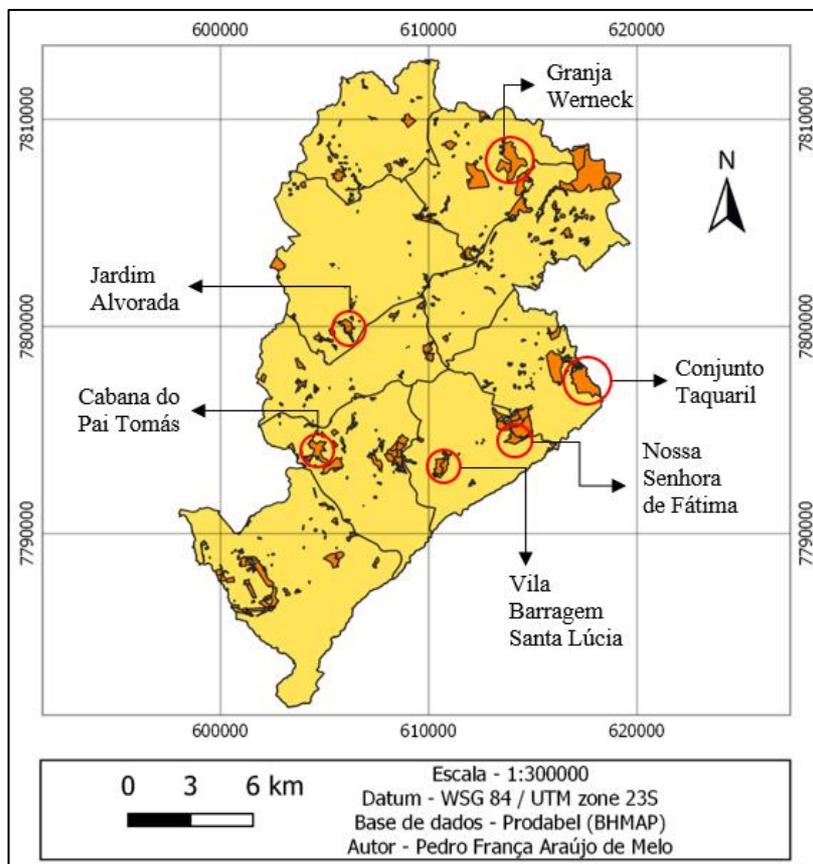


Figura 4. Vilas, favelas e conjuntos habitacionais mais vulneráveis aos deslizamentos.

5.2 Análises de Proporção e Frequência

Após o tratamento dos dados contidos nas planilhas fornecidas pela URBEL, foram realizados o processamento e as análises desses dados utilizando o programa estatístico STATA, versão 14.2. Nas análises de proporção e frequência, são apresentados a frequência absoluta e o percentual de cada uma das categorias em relação ao banco de dados total da variável analisada. Além disso, são fornecidos os intervalos de confiança de 95% para as proporções, considerando o nível de confiança de 95% adotado para o estudo.

Na Tabela 1, pode-se observar a frequência e proporção dos diferentes níveis de risco geológico-geotécnico. É possível observar uma distribuição equilibrada entre as quatro primeiras categorias: sem risco (21,9%), baixo (23,5%), médio (26,4%) e alto (22,4%). No entanto, a categoria de risco muito alto apresentou uma proporção significativamente menor, contabilizando 5,8%.

Tabela 1. Análise de proporção e frequência dos níveis de risco geológico-geotécnico no banco de dados.

	Total		IC 95%	
	%	n		
Sem Risco	21,9	3895	21,3	22,5
Baixo	23,5	4178	22,9	24,2
Médio	26,4	4687	25,7	27,0
Alto	22,4	3970	21,7	23,0
Muito Alto	5,8	1031	5,5	6,2

n - Frequência absoluta

IC 95% - Intervalo de confiança de 95%

Quanto aos pareceres determinados pelos vistoriadores, conforme mostrado na Tabela 2, a maioria dos registros está relacionada ao parecer “monitoramento pelo morador”, representando 84,4% do banco de dados. Por outro lado, a indicação de remoção definitiva, que se trata de uma medida aplicada apenas em casos de extrema necessidade, aparece com uma proporção bastante baixa, com apenas 2,1%.

Tabela 2. Análise de proporção e frequência dos pareceres no banco de dados.

	Total		IC 95%	
	%	n		
Indicação de remoção definitiva	2,1	300	1,9	2,3
Indicação de remoção temporária	13,4	1931	12,9	14,1
Monitoramento pelo morador	84,4	12092	83,8	85,0

n - Frequência absoluta
 IC 95% - Intervalo de confiança de 95%

Na Tabela 3, são apresentadas a frequência e a proporção de registros de ocorrência de deslizamentos nos locais vistoriados durante o período analisado. Cerca de 18% dos locais vistoriados registraram algum deslizamento no local, anteriormente à data da vistoria, enquanto os outros 82% dos locais vistoriados não apresentaram nenhum registro de deslizamento.

Tabela 3. Tabela de contingência para registro de deslizamentos e risco geológico-geotécnico.

Ocorrência de deslizamento	Total		IC 95%	
	%	n		
Não	82,0	14529	81,4	82,6
Sim	18,0	3186	17,4	18,6

n - Frequência absoluta
 IC 95% - Intervalo de confiança de 95%

5.3 Teste Qui-quadrado de Pearson

A abordagem estatística empregada possui o intuito de investigar a associação entre as variáveis em questão, permitindo-nos compreender se existe uma relação significativa entre elas. Assim, as combinações de variáveis escolhidas para serem analisadas neste estudo foram as seguintes: registro de ocorrência de deslizamentos e nível de risco geológico-geotécnico (Tabela 4); registro de ocorrência de deslizamentos e pareceres (Tabela 5).

Os resultados presentes nas tabelas de contingência geradas são apresentados por blocos, que representam a interseção entre duas categorias da tabela, uma na vertical e outra na horizontal. Esses blocos contêm três valores: a frequência absoluta (n), a proporção em relação ao total da categoria presente na linha analisada (%^A) e a proporção em relação ao total da categoria presente na coluna analisada (%^B).

A partir dos resultados obtidos na Tabela 4, pode-se concluir que há associação entre o nível de risco geológico-geotécnico e o registro de ocorrência de deslizamento nos locais vistoriados. Essa conclusão pode ser afirmada em virtude do resultado do teste estatístico ($p < 0,001$), o que determina a existência de uma relação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas. Desta forma, observa-se que há uma maior proporção de registro de ocorrência de deslizamento entre os locais vistoriados classificados com níveis de risco geológico-geotécnico mais altos (sem risco – 2,0%; risco baixo – 6,0%; risco médio – 18,1%; risco alto – 34,9%; risco muito alto – 61,0%).

Posteriormente, com base nos resultados apresentados na Tabela 5, é possível inferir que há associação entre os pareceres determinados pelos vistoriadores e o registro de ocorrência de deslizamento nos locais vistoriados. Novamente, essa conclusão pode ser estabelecida com base no resultado do teste estatístico ($p < 0,001$), o qual indica a presença de uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis

analisadas. Dessa maneira, nota-se que existe uma proporção significativamente maior de registros de ocorrência de deslizamento entre os locais onde determinou-se indicação de remoção definitiva ou temporária.

Tabela 4. Tabela de contingência para registro de deslizamentos e níveis de risco geológico-geotécnico.

Registro de ocorrência de deslizamento		Nível de risco geológico-geotécnico					Total
		Sem Risco	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	
Não	n	3787	3904	3819	2562	395	14467
	% ^A	26,2	27,0	26,4	17,7	2,7	100
	% ^B	98,0	94,0	81,9	65,1	39,0	82,1
Sim	n	76	250	842	1373	617	3158
	% ^A	2,4	7,9	26,7	43,5	19,5	100
	% ^B	2,0	6,0	18,1	34,9	61,0	17,9
Total	n	3863	4154	4661	3935	1012	17625
	% ^A	21,9	23,6	26,5	22,3	5,7	100
	% ^B	100	100	100	100	100	100

p < 0,001

n - Frequência absoluta

%^A - Proporção sobre o total de registro (não/sim)

%^B - Proporção sobre o total do nível de risco

Tabela 5. Tabela de contingência para registro de deslizamentos e pareceres.

Registro de ocorrência de deslizamento		Pareceres			Total
		Indicação de remoção definitiva	Indicação de remoção temporária	Monitoramento pelo morador	
Não	n	170	972	10030	11172
	% ^A	1,5	8,7	89,8	100
	% ^B	57,8	51,1	83,5	78,6
Sim	n	124	931	1982	3037
	% ^A	4,8	30,7	65,3	100
	% ^B	42,2	48,9	16,5	21,4
Total	n	294	1903	12012	14209
	% ^A	2,1	13,4	84,5	100
	% ^B	100	100	100	100

p < 0,001

n - Frequência absoluta

%^A - Proporção sobre o total de registro (não/sim)

%^B - Proporção sobre o total do nível de risco

Com base nas análises realizadas e expostas, foram identificados resultados interessantes relacionados à vulnerabilidade aos deslizamentos de terra nas vilas, favelas e conjuntos habitacionais do município de Belo Horizonte. Observou-se que as regionais L e CS foram as mais afetadas, seguidas pelas regionais N e NE. Além disso, as regionais L, CS, N, NE e B se destacaram por apresentarem as maiores proporções de vistorias classificadas com alto ou muito alto risco geológico-geotécnico.

De acordo com o relatório “Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas do município de Belo Horizonte”, da Prefeitura de Belo Horizonte (2016), a concentração de áreas críticas de vulnerabilidade aos deslizamentos nas regionais L, CS e B pode ser atribuída à topografia íngreme e à presença de rochas suscetíveis à erosão.

Nas regionais N e NE, os autores afirmam que a concentração de vulnerabilidade deve-se principalmente à baixa capacidade de adaptação da população, associada ao aumento de eventos extremos de precipitação acumulada em dias consecutivos. Já na regional do Barreiro, destaca-se a região do Parque do Rola Moça, que, apesar de pouco habitada, demonstra elevada suscetibilidade devido à declividade e geologia.

No que diz respeito aos tipos de movimentos de massa, as análises realizadas revelaram que os escorregamentos planares foram os mais comuns, representando 90% dos registros analisados. De acordo com Ahrendt (2005), a principal causa de ruptura responsável por esses tipos de escorregamentos está relacionada à infiltração de água. Em vista disso, destaca-se a situação ocorrida no início de 2020, quando os três primeiros meses do ano apresentaram um acúmulo de precipitação superior à média anual da cidade (Climatempo, 2020).

Por consequência, dentre os registros analisados, o ano de 2020 registrou a maior quantidade de ocorrências de deslizamentos, principalmente de escorregamentos planares.

Em relação às informações acerca da população, o banco de dados referente às vistorias realizadas pelo PEAR só apresenta dados referentes ao número total de moradores por local vistoriado e o número de crianças residentes no mesmo local. Dessa maneira, de acordo com Moreira & Barbieri (2020), a população que reside em áreas de risco, vulnerável a deslizamentos, é mais jovem em relação à média demográfica de Belo Horizonte, onde cerca de 13% da população total da cidade consiste em crianças, de acordo com o censo demográfico do IBGE (2010). Isso é evidenciado pelas análises realizadas, que revelaram que quase 30% da população que vive em áreas classificadas como de alto ou muito alto risco geológico-geotécnico é composta por crianças.

7 CONCLUSÕES

De acordo com as análises realizadas e apresentadas neste estudo, foi constatado que as regionais Leste, Centro-Sul, Norte, Nordeste e Barreiro são as áreas que apresentam maior vulnerabilidade aos deslizamentos de terra ao analisar a situação das vilas, favelas e conjuntos habitacionais do município de Belo Horizonte. No que diz respeito aos tipos de movimentos de massa, as análises realizadas no trabalho revelaram que os escorregamentos planares foram os mais comuns, representando 90% dos registros analisados. Quanto à população abrangida, constatou-se que cerca de 30% das pessoas que vivem em áreas classificadas como de alto ou muito alto risco geológico-geotécnico são crianças, demonstrando que a população que reside em áreas de risco, vulnerável a deslizamentos, é mais jovem em relação à média demográfica de Belo Horizonte.

No que se refere às regiões de maior preocupação em relação à vulnerabilidade aos deslizamentos de terra, em Belo Horizonte, merecem destaque determinados aglomerados urbanos, tais como Conjunto Taquaril, Nossa Senhora de Fátima, Granja Werneck, Jardim Alvorada, Vila Barragem Santa Lúcia e a favela Cabana do Pai Tomás. Ao analisar os pareceres determinados nas vistorias, notou-se que as indicações de remoção temporária ou definitiva representaram uma proporção mínima dos casos, indicando que essas medidas são consideradas apenas quando a opção de monitoramento pelo próprio morador não é suficiente ou quando não há outras alternativas viáveis para reduzir o risco e garantir a segurança dos moradores. Além disso, foi constatada uma associação estatisticamente significativa entre os pareceres determinados pelos vistoriadores e o registro de ocorrência de deslizamento nos locais vistoriados, bem como entre o registro de ocorrência de deslizamento e o nível de risco geológico-geotécnico. Essa última constatação evidenciou a eficácia da classificação realizada pelos vistoriadores ao avaliar o nível de risco geológico-geotécnico nos locais vistoriados.

AGRADECIMENTOS

À URBEL, pelo fornecimento do banco de dados empregado para a realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, L.C. (2011) *Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte- Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.
- MOREIRA, R. E.; BARBIERI, A. F. (2020) *Populações em Áreas de Risco de Deslizamentos em Belo Horizonte, Brasil*. CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE POBLACIÓN, 2020
- PREFEITURA DE BELO HORIZONTE.(2016) *Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte - Relatório Final*. Belo Horizonte.