

**ANÁLISE DO PROCESSO DE QUEDA DE BLOCOS NO ESTADO DO
ESPÍRITO SANTO NO PERÍODO DE 2011 A 2020**

Rafael Silva Ribeiro ¹

Resumo – Quedas de blocos são movimentos gravitacionais velozes e que, quando ocorrem, provocam danos de grandes proporções. No Espírito Santo, aproximadamente 10,5% da população que reside em construções com riscos alto e muito alto está em setores de risco originados por quedas de blocos. Entre doze desastres analisados, o processo de queda de blocos é o terceiro mais importante no estado. Nessa pesquisa, são apresentadas relações entre as áreas de risco de quedas de blocos com a geologia, a geomorfologia e a divisão municipal capixaba. No aspecto geológico, os resultados indicam uma relação significativa e distribuída de maneira equitativa entre rochas metamórficas e ígneas félsicas. No caso da geomorfologia, observa-se uma concentração dos setores de risco em regiões com montanhas, morros, serras e colinas dissecadas. A distribuição geográfica dos padrões geológico e geomorfológico no estado influencia diretamente na existência de áreas de risco, fato corroborado pela ausência de setores de risco em municípios das porções nordeste e do extremo sudeste do território capixaba.

Abstract – Rockfalls are rapid landslides that can cause significant damage when they occur. In Espírito Santo, approximately 10.5% of the population residing in buildings with high and very high risk is located in areas at risk of rockfalls. Among twelve analyzed disasters, the rockfall process ranks as the third most significant in the state. This study presents the relationships between areas at risk of rockfalls and the geological, geomorphological and municipal divisions of Espírito Santo. From a geological perspective, the results indicate a significant and evenly distributed relationship between metamorphic rocks and felsic igneous rocks. In terms of geomorphology, there is a concentration of risk sectors in regions characterized by mountains, hills, and dissected ridges. The geographical distribution of geological and geomorphological patterns in the state directly influences the existence of risk areas, a fact supported by the absence of risk sectors in municipalities located in the northeastern and extreme southeastern portions of the Espírito Santo territory.

Palavras-Chave – Queda de blocos; risco; Espírito Santo; movimento gravitacional de massa.

¹ Geólogo, PhD, Serviço Geológico do Brasil – SGB, (31) 3878-0312, rafael.silva@sgb.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Varnes (1978) define queda de blocos como o movimento gravitacional de massa que consiste no desprendimento de um ou muitos blocos de rocha de uma encosta vertical ou subvertical, seguido por sua rápida movimentação encosta abaixo por queda livre, saltação, rolamento e/ou deslizamento (Figura 1). É o movimento gravitacional de massa mais veloz (Varnes, 1984, apud Abellán et al., 2006), no qual o bloco chega a atingir velocidades que variam de poucos metros por segundo a até cerca de 30 m/s (Peila & Ronco, 2009). Apesar de geralmente envolverem volumes limitados, são caracterizadas por sua imprevisibilidade, alta energia e mobilidade do material envolvido, tornando-se uma das principais causas de fatalidade entre os movimentos gravitacionais de massa (Agliardi & Crosta, 2003).

De acordo com Dorren et al. (2011), quedas de blocos possuem três zonas típicas (Figuras 2 e 3).

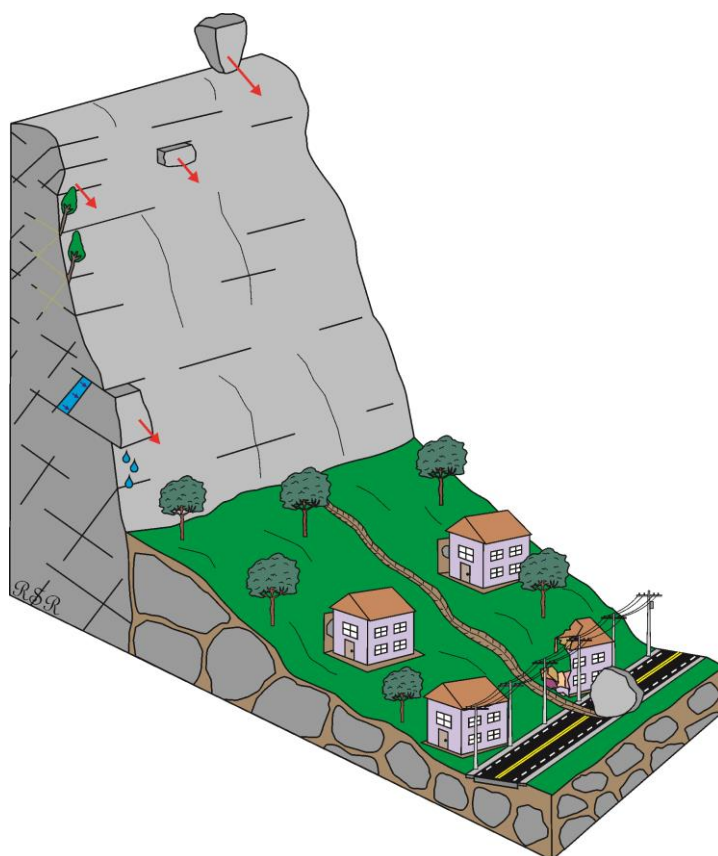


Figura 1. Representação esquemática de queda de blocos.

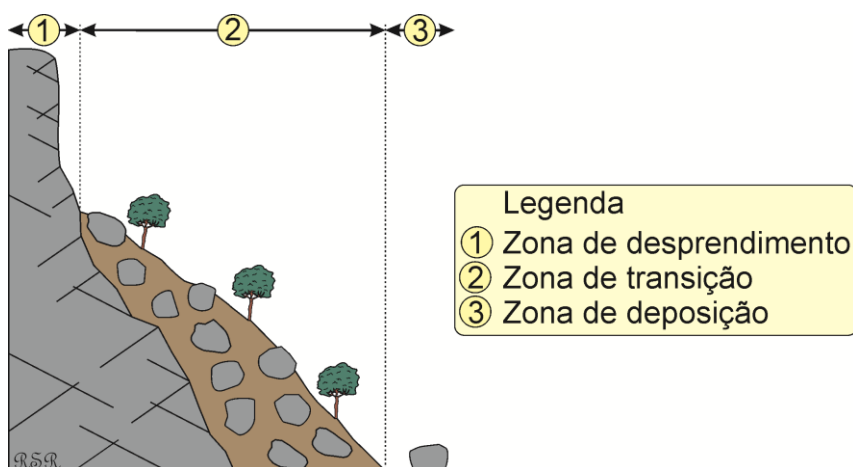


Figura 2. Zonas de quedas de blocos.



Figura 3. Zonas de queda de blocos ocorrida no município de Pancas – ES.

A primeira é denominada zona de desprendimento (também conhecida como zona de liberação, zona de origem ou zona de partida) e é a região onde o bloco inicia sua descida encosta abaixo. A previsão de quando irá ocorrer o fenômeno é uma tarefa difícil (Yılmaz et al., 2008), uma vez que raramente há sinais premonitórios (Carnevale, 1991). O início do processo, a trajetória e o alcance dos blocos são influenciados pela geometria da encosta e dos blocos de rocha, bem como pelas propriedades que interagem com o bloco e aquelas relacionadas à inclinação da encosta (Pfeiffer & Higgins, 1990, apud Sasiharan et al., 2006).

A partir da zona de desprendimento, Hutchinson (1988) classificou as quedas de blocos com base na separação do bloco do maciço no instante de sua movimentação. Queda de blocos primária é aquela em que o início da movimentação dos blocos encosta abaixo ocorre exatamente no momento em que estes se destacam do maciço. Neste caso, antes da sua movimentação, o bloco ainda se encontrava unido ao maciço rochoso (Ribeiro, 2013).

Queda de blocos secundária é aquela onde, no instante anterior à deflagração do processo, o bloco obrigatoriamente já se encontrava segregado do maciço. Há dois cenários geológicos nesse contexto: no primeiro, o bloco rochoso está assente sobre o maciço rochoso; no segundo, o bloco repousa sobre depósito de tálus ou campo de blocos (Figura 4).

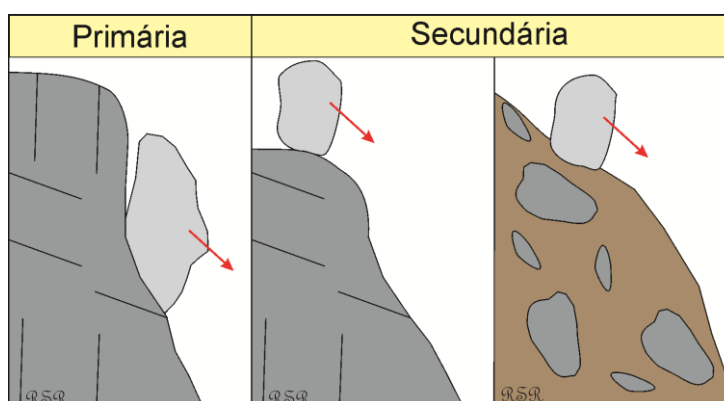


Figura 4. Representações de quedas de blocos primária e secundária.

A segunda zona é a zona de transição ou zona intermediária, que é a área onde ocorre a maior parte do percurso do bloco e, consequentemente, onde há o maior número de impactos

com a superfície do terreno. O relevo, a geometria e o volume do bloco são fatores que determinam o modo de movimentação do bloco (Figura 5). Na maioria das ocorrências há mais de um modo ao longo do percurso (Ribeiro, 2013).

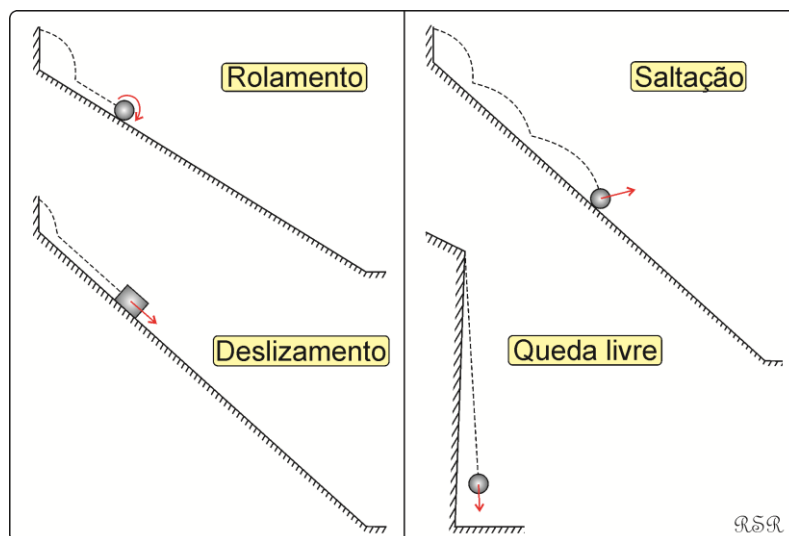


Figura 5. Modos de movimentação do bloco rochoso no terreno.

A saltação é o modo de movimentação mais comum, o menos compreendido e o de mais difícil previsão (Volkwein et al., 2011). Sob ação da gravidade, a saltação ocorre com alta velocidade ao longo de percursos parabólicos. Durante o percurso, os sucessivos impactos podem causar a fragmentação do bloco. Giacomini et al. (2009) afirmam que a fragmentação do bloco é o aspecto mais complexo e mal compreendido do processo. As discontinuidades e a alta velocidade de impacto do bloco são fatores que beneficiam a fragmentação do bloco. A importância do estudo da fragmentação reside no fato de que sua ocorrência é capaz de alterar o formato, volume e peso originais do bloco.

A zona de deposição é a área onde os blocos atingem seu alcance e interrompem sua movimentação (Figura 6). Segundo Ayala-Carcedo et al. (2003), a determinação preditiva do alcance dos blocos é complexa e depende de características da encosta e do bloco rochoso (Figura 7).



Figura 6. Zona de deposição de queda de blocos no município de Vila Velha – ES.

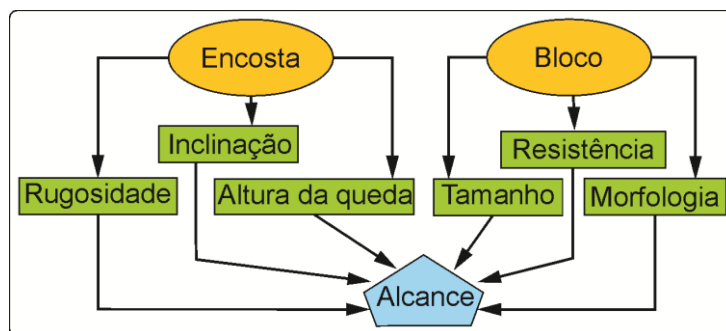


Figura 7. Fatores relacionados à encosta e ao bloco rochoso que influenciam no alcance de queda de blocos (Modificado de Ayala-Carcedo et al., 2003).

Quedas de blocos são originadas por diferentes fatores. Os fatores de curto prazo, conhecidos como desencadeantes, podem iniciar o processo com uma única ocorrência. Por outro lado, os fatores de preparação têm efeitos pequenos e quase imperceptíveis que se acumulam ao longo do tempo, levando à segregação do bloco (Gunzburger et al., 2005). Fatores relacionados às características do terreno, que não dependem do tempo, são chamados de fatores de predisposição (Ribeiro 2013). A tabela 1 apresenta os principais fatores geradores de quedas de blocos para os três grupos descritos anteriormente.

Tabela 1. Fatores geradores de queda de blocos rochosos (Gunzburger et al., 2005)

Tipo	Fatores de predisposição	Fatores de preparação	Fatores desencadeantes
Mecânico	Vales com lados íngremes	Aumento da declividade	Terremotos de grande magnitude
	Rede de fraturas bem desenvolvida	Atividade sísmica	Ciclos de congelamento-descongelamento da água presente nas fraturas
	Tensões provenientes de neotectonismo	Processo de danos provocados por ações antrópicas	
Hidrológico e meteorológico	Climas com altos índices de precipitação	Regime de chuvas regulares	Forte chuva
			Rápido derretimento do gelo
Térmico	Climas com grandes contrastes de temperatura	Oscilações de temperatura em um dia e nas estações do ano	?
Geoquímico	Mineralogia das rochas (resistência dos minerais frente ao intemperismo)	Progressiva alteração das paredes das discontinuidades	?

Ribeiro (2022) conduziu estudo com os setores de risco classificados com graus alto e muito alto e mapeados entre 2011 e 2020 no Espírito Santo. Foi identificado que 10,5% da população capixaba residente nesses setores se encontra em locais suscetíveis a quedas de blocos, o que posiciona o movimento gravitacional de massa como o terceiro mais significativo entre os doze processos geológicos e hidrológicos analisados em sua pesquisa.

Este estudo tem como objetivo realizar análise estatística da distribuição dos setores com riscos alto e muito alto para quedas de blocos, mapeados entre 2011 e 2020, e considerando os aspectos geológico, geomorfológico e municipal do estado do Espírito Santo.

2. RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme Silva & Machado (2014), o Espírito Santo pode ser dividido basicamente em doze padrões de relevo (Figura 8). Nas áreas norte, nordeste e litorânea, há o predomínio de tabuleiros, colinas suaves e planícies (Ribeiro, 2022). Em contrapartida, nas regiões central, sul e oeste, destacam-se domínios montanhosos e serras.

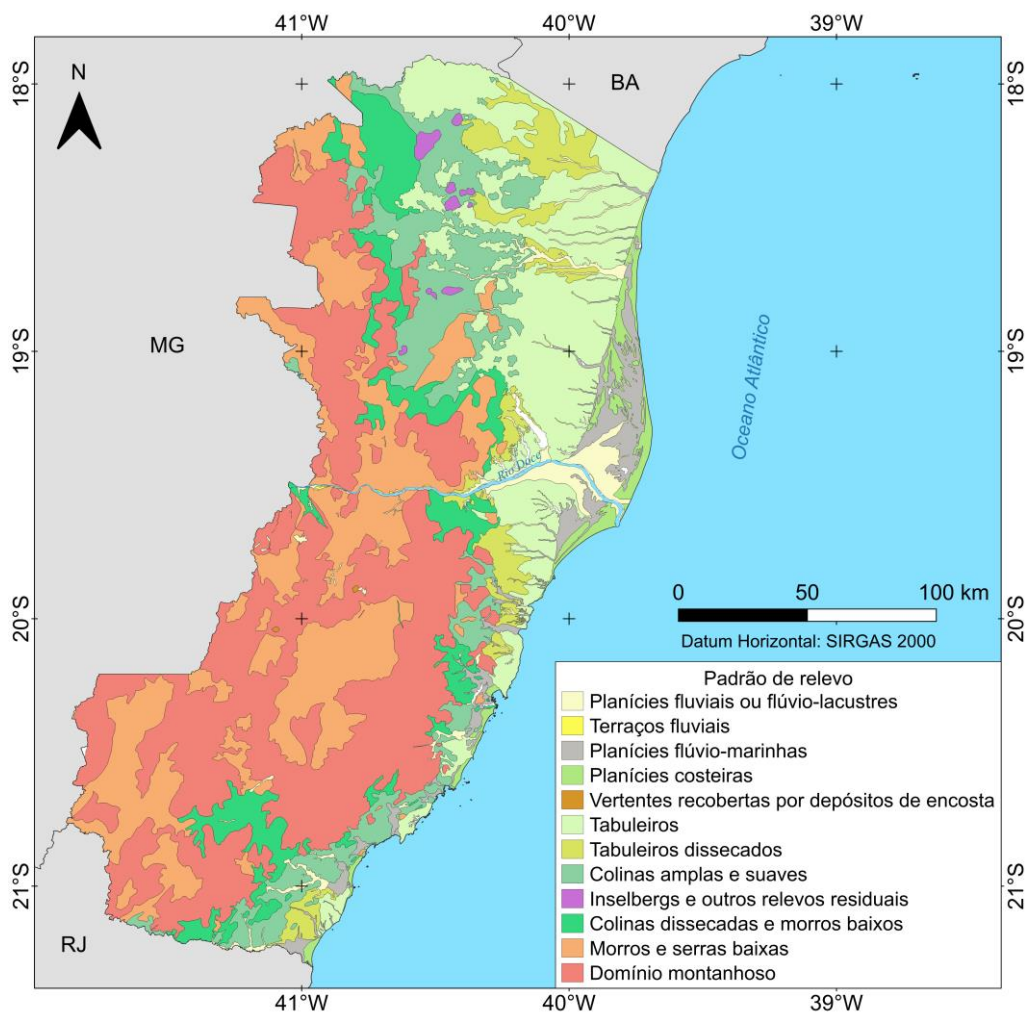


Figura 8. Mapa de padrões de relevo simplificado do Espírito Santo (Modificado de Silva & Machado, 2014, apud Ribeiro, 2022).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na pesquisa bibliográfica sobre o estado, foram analisados dados de 1.378 setores de risco delimitados e descritos pelo Serviço Geológico do Brasil no período de 2011 a 2020 (SGB, 2024), com exceção de Vitória, cujos dados foram extraídos do Plano Municipal de Redução de Riscos (Prefeitura Municipal de Vitória, 2017). Desses, foram selecionados os setores de risco a quedas de blocos e suas informações organizadas e tratadas estatisticamente conforme a metodologia preconizada por Ribeiro (2022). Com os dados finais, foram elaboradas cartas que ilustram a porcentagem populacional e o número de construções localizadas em áreas de risco.

O mapa geológico do estado, publicado pela CPRM (2018), foi simplificado e organizado para agrupar litologias e estruturas semelhantes. Os mapas simplificados, tanto o geológico quanto o de padrões de relevo, foram comparados aos setores de risco de quedas de blocos. As regiões coincidentes foram recortadas e as áreas determinadas para cada unidade. Em seguida, foram calculados os percentuais de cada unidade em relação à área total de risco.

4. RESULTADOS

Cerca de 54% dos municípios capixabas possuem edificações em riscos alto e muito alto decorrentes de queda de blocos. A exposição da população a esse risco é particularmente elevada em Mimoso do Sul e Água Doce do Norte, com 12,1% e 10,4% dos residentes, respectivamente (Figura 9).

O processo de queda de blocos está em 21% dos setores de riscos geológico e hidrológico do Espírito Santo classificados como alto e muito alto. No estado, há 6.154 construções que foram ou poderão ser impactadas pela manifestação do fenômeno, distribuídas em 42 municípios (Figura 10).

Ao se comparar a geomorfologia com a geologia do terreno, observa-se uma correspondência entre planícies e terraços com rochas e depósitos sedimentares do Grupo Barreiras, do Plioceno e do Quaternário. Essas unidades estão predominantemente distribuídas nas regiões nordeste e extremo sudeste do Espírito Santo, onde não existem municípios com áreas de risco à queda de blocos. Por outro lado, os municípios com áreas de risco relacionadas a quedas de blocos concentram-se nas regiões noroeste, centro-oeste e sudoeste do estado, o que coincide com a presença de rochas ígneas e metamórficas situadas principalmente em relevo caracterizado por domínios montanhosos, morros altos e morros baixos. Essa relação é evidenciada nas figuras 11 e 12.

A figura 11 revela que, sob a perspectiva geológica, há uma distribuição quase equitativa entre os setores de risco de quedas de blocos originados em terrenos com rochas metamórficas, representadas principalmente por gnaisses, xistos e migmatitos, e regiões compostas por rochas magmáticas félsicas, como granitos, granodioritos, dioritos e tonalitos. Essa análise foi baseada em um mapa geológico modificado, o que resultou em 17 unidades litológicas (Figura 13).

Do ponto de vista geomorfológico, duas classes se destacam nos polígonos de risco alto e muito alto: domínios montanhosos e domínios de colinas dissecadas e morros baixos, que juntas perfazem cerca de 87% da área ocupado pelos setores (Figura 12).

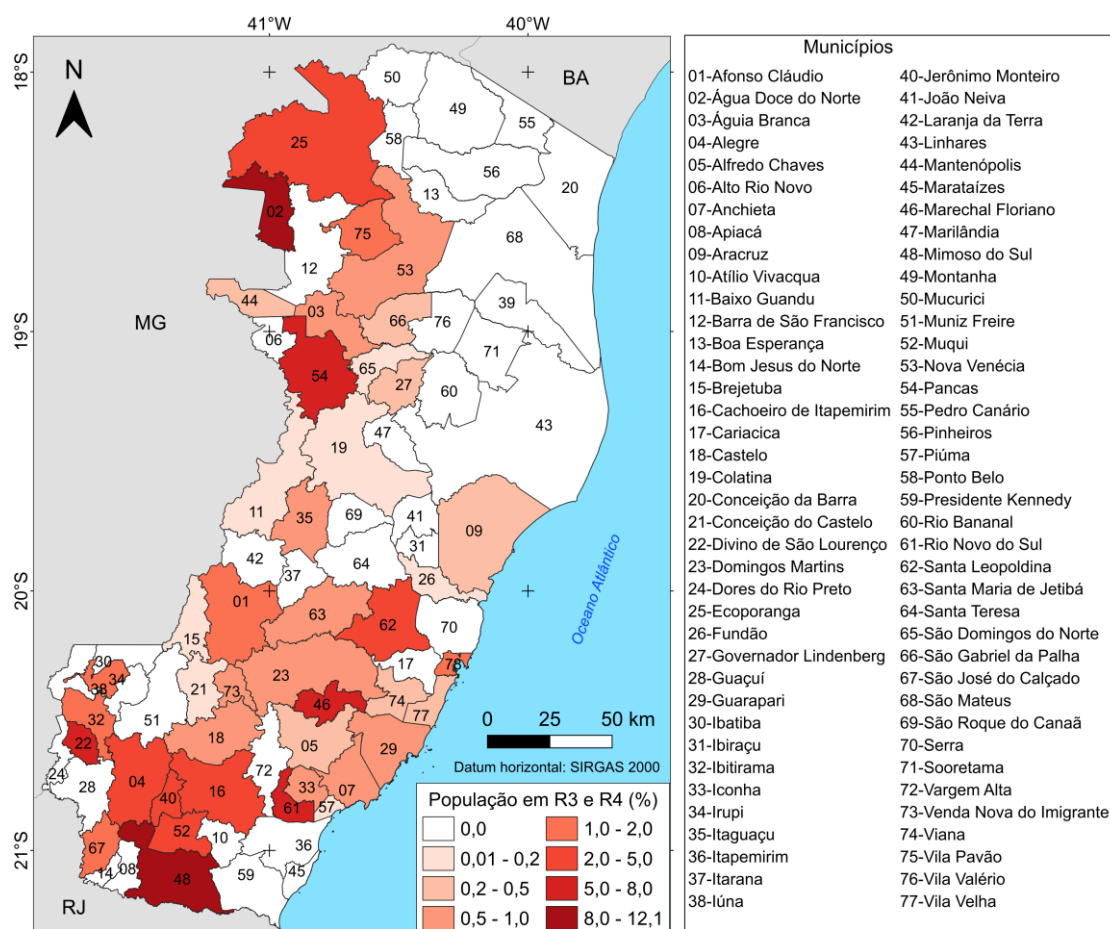


Figura 9. Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para queda de blocos nos municípios do Espírito Santo.

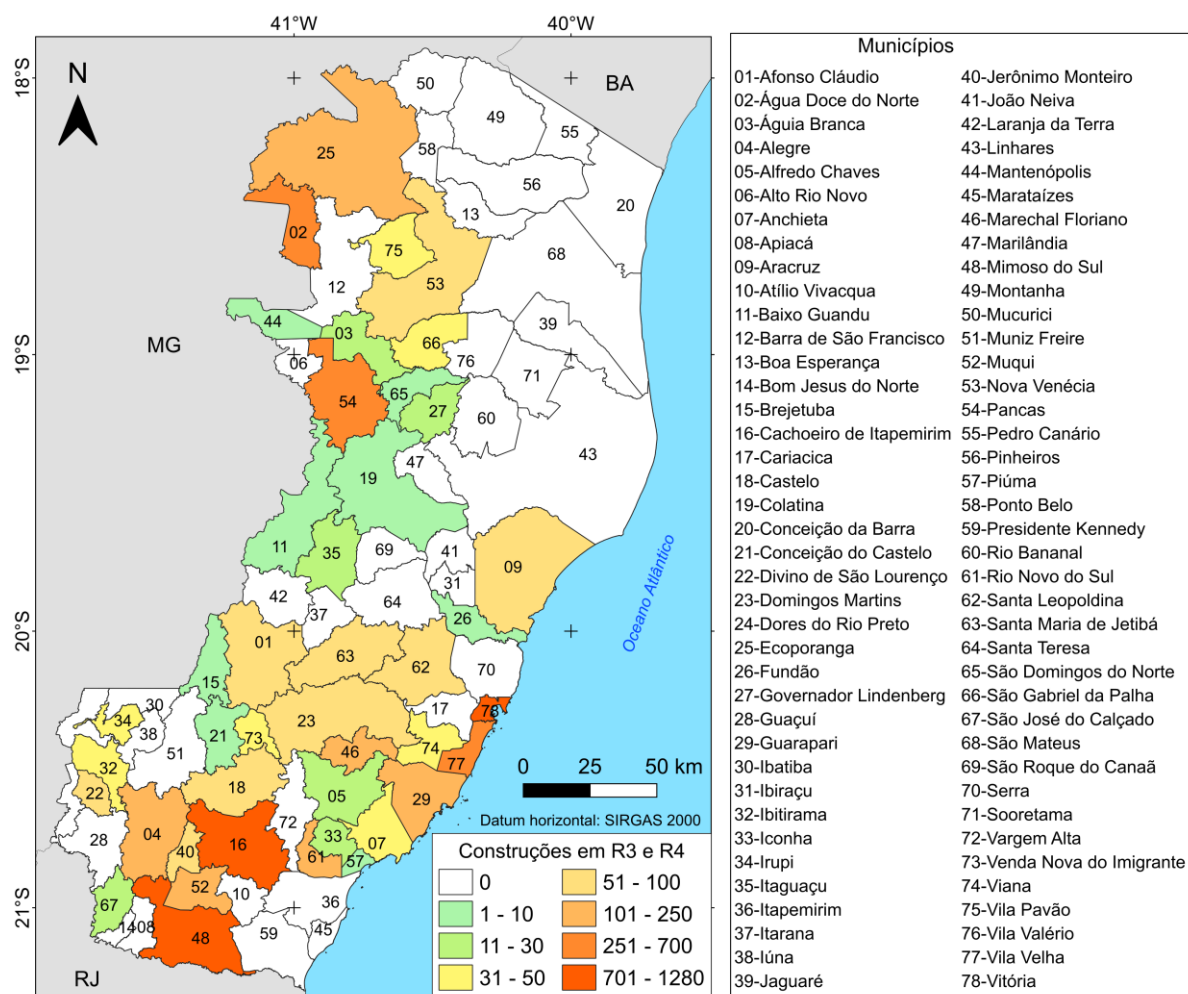


Figura 10. Construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para queda de blocos nos municípios capixabas.

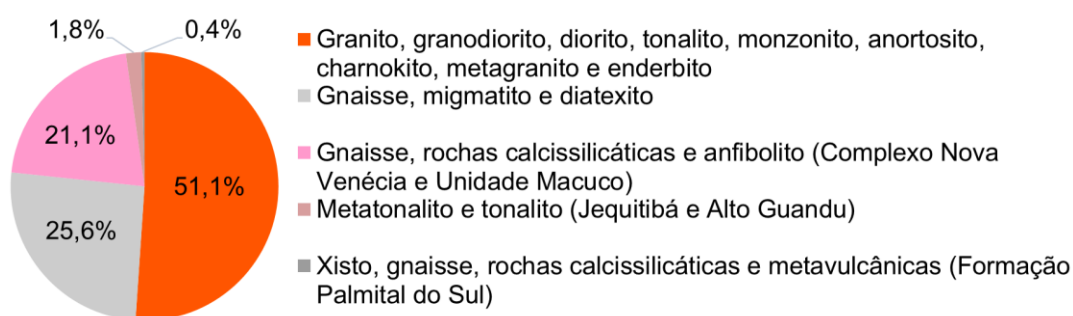


Figura 11. Porcentagens das áreas dos setores de risco de queda de blocos por unidade litológica.

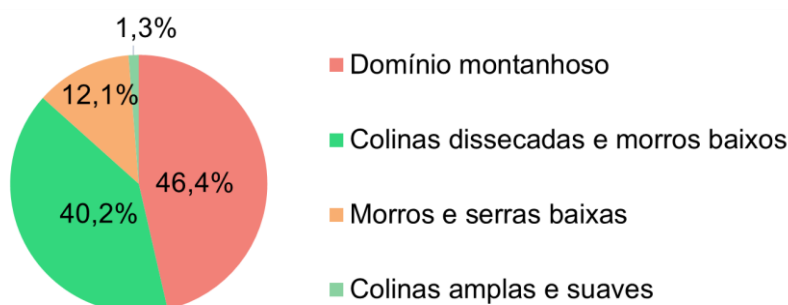


Figura 12. Porcentagens das áreas dos setores de risco de queda de blocos por padrão de relevo.

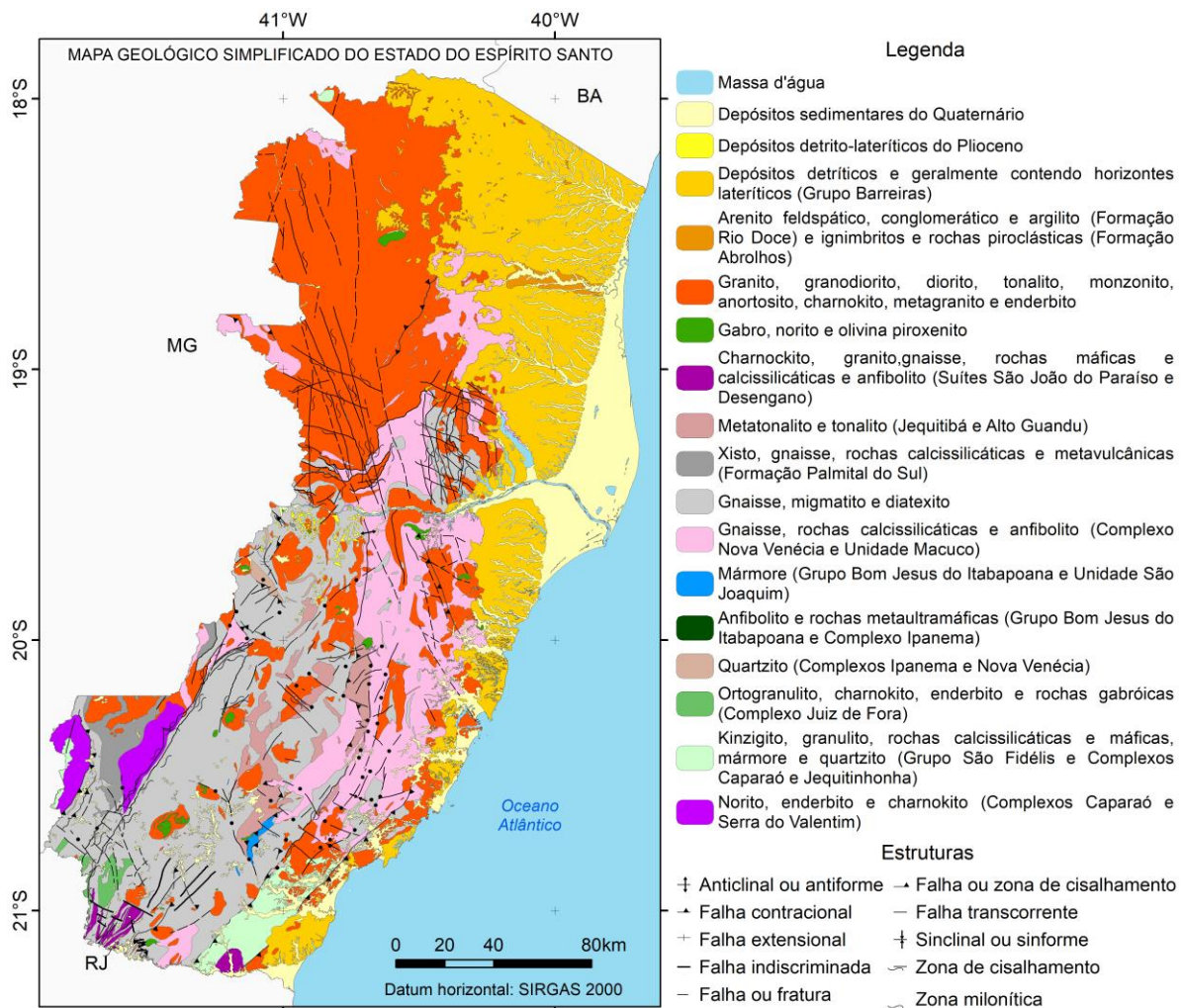


Figura 13. Mapa geológico simplificado do estado do Espírito Santo (Modificado de CPRM, 2018).

5. CONCLUSÕES

Com o estudo, foi possível determinar que os setores de risco a quedas de blocos no Espírito Santo estão principalmente associados com encostas formadas por maciços rochosos compostos por rochas ígneas félsicas e metamórficas, localizados em áreas de montanhas, serras, morros e colinas dissecadas. Essa combinação não está presente em grande parte das porções nordeste e sudeste do estado, o que explica a ausência de áreas de risco relacionadas ao fenômeno nos municípios das referidas regiões.

No futuro, pretende-se diferenciar quedas primárias e secundárias, atualizar os dados com os novos mapeamentos que estão sendo realizados e comparar com unidades geomorfológica e geológica mais detalhadas do estado.

REFERÊNCIAS

- ABELLÁN, A. et al. (2006) "Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain)" in *Engineering Geology*, Vol. 88, n. 3/4, p. 136-148.
- AGLIARDI, F. & CROSTA, G.B. (2003) "High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls" in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 40, n. 4, p. 455-471.

- AYALA-CARCEDO, F.J. et al. (2003) "Large scale rockfall reach susceptibility maps in La Cabrera Sierra (Madrid) performed with GIS and dynamic analysis at 1:5.000" in *Natural Hazards*, Vol. 30, p. 325-340.
- CARNEVALE, G. (1991) "Simulações teóricas de casos de desmoronamento de taludes rochosos" in *Solos e Rochas*, Vol. 14, n. 1, p. 21-40.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Espírito Santo - escala 1:400.000 (2018). Ministério de Minas e Energia, Brasília.
- DORREN, L.K.A. et al. 2011. "Methods for predicting rockfall trajectories and run-out zones." In: LAMBERT, S. & NICOT, F. (eds.) *Rockfall engineering*. London: ISTE; Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. p.: 143-173.
- GIACOMINI, A. et al. (2009) "Experimental studies on fragmentation of rock falls on impact with rock surfaces" in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 46, p. 708-715.
- GUNZBURGER, Y. et al. (2005) "Influence of daily surface temperature fluctuations on rock slope stability: case study of the Rochers de Valabres slope (France)" in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 42, n. 3, p. 331-349.
- HUTCHINSON, J.N. (1998) "General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology" in *International Symposium On Landslides*, n. 5, p. 3-29.
- PEILA, D. & RONCO, C. (2009) "Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline." in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, n. 4, p. 1291-1298.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2017. "Plano Municipal de Redução de Risco de Vitória – ES." Disponível em: <https://sites.vitoria.es.gov.br/pmrr/>. Acesso em: 31 out. 2024.
- RIBEIRO, R. S. (2013) "Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discreto", Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 265 p.
- RIBEIRO, R. S. (2022) "Atlas de riscos geológico e hidrológico do estado do Espírito Santo no período 2011-2020: resultados gerais" in *Revista Geologia USP. Série Científica*, Vol. 22, n. 4, p. 3-22.
- SASIHARAN, N. et al. (2006) "Numerical analysis of the performance of wire mesh and cable net rockfall protection systems" in *Engineering Geology*, Vol. 88, n. 1/2, p. 121-132.
- SGB – Serviço Geológico do Brasil (2024) "Cartografia de Riscos Geológicos - Espírito Santo". Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/pt/cartografia-de-riscos-geologicos-espirito-santo>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- SILVA, S. F. & MACHADO, M.F. (org.). *Geodiversidade do estado do Espírito Santo*. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p. 21-23.
- VARNES, D.J. (1978) "Slope movement types and processes" in *Landslide analysis and control*. Washington: National Acadmy of Sciences, p. 11-33. (Transportation Research Board, Special Report, n. 176).
- VOLKWEIN, A. et al. (2011) "Rockfall characterisation and structural protection: a review" in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 11, n. 9, p. 2617-2651, 2011. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/11/2617/2011/>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- YILMAS, I. et al. (2008). "A method for mapping the spatial distribution of RockFall computer program analyses results using ArcGIS software" in *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 67, n. 4, p. 547-554.