

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/430

## Vulnerabilidade física das edificações e infraestruturas de uma área rural no município de Barra do Turvo - SP

Ellen Felizardo Batista

Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, ellenfp@ifsp.edu.br

Ariane Cecato Cajaiba dos Santos

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, ariane.cecato@ifsp.edu.br

Larissa de Brum Passini

Docente, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@ufpr.br

**RESUMO:** A vulnerabilidade desempenha um papel crucial nas análises de riscos associados aos deslizamentos de terra, sendo fundamental para uma previsão adequada das consequências desses eventos. O presente estudo teve como objetivo a avaliação quantitativa da vulnerabilidade física das edificações e infraestruturas da área rural de Barra do Turvo - SP, localizada na cadeia montanhosa da Serra do Mar. A região propensa à deslizamentos de terra possui 144 agregados familiares que se estabeleceram nas margens da rodovia Régis Bittencourt. Por meio de uma metodologia baseada em indicadores, foi considerada a intensidade dos deslizamentos e a resistência dos elementos expostos, sendo estes: as edificações, obras de arte especiais e vias terrestres. Os resultados indicaram que 93% das edificações apresentam elevada vulnerabilidade física, e as obras de arte especiais e a rodovia apresentam moderada vulnerabilidade. Já as estradas rurais indicaram alta vulnerabilidade física. Destaca-se a importância deste conhecimento para planejar estratégias de mitigação de riscos. Através da aplicação desta abordagem, foi possível a produção do mapeamento para região. Como conclusões, salienta-se a possibilidade de aplicação em outras regiões, além do potencial de uso pelos gestores públicos no planejamento territorial e proteção civil, direcionando ações voltadas à redução de risco.

**PALAVRAS-CHAVE:** Intensidade dos deslizamentos, Resistência dos elementos expostos, Gestão de riscos.

**ABSTRACT:** The vulnerability plays a crucial role in the risk analysis associated with landslides, being essential for an accurate prediction of the consequences of these events. This study aimed at the quantitative assessment of the physical vulnerability of buildings and infrastructure in the rural area of Barra do Turvo, located in the Serra do Mar mountainous range. The region prone to landslides has 144 households established along the Régis Bittencourt highway. Using an indicator-based methodology, the intensity of landslides and the resistance of exposed elements, including buildings, special structures, and roads, were considered. The results indicated that 93% of the buildings exhibit high physical vulnerability, while special structures and the highway show moderate vulnerability. Rural roads, on the other hand, showed high physical vulnerability. Emphasizing the importance of this knowledge for planning risk mitigation strategies, the application of this approach enabled mapping the region. In conclusion, the potential for application in other regions is highlighted, along with its usability by public officials in territorial planning and civil protection, directing actions towards risk reduction.

**KEYWORDS:** Landslide intensity. Resistance of exposed elements. Risk management.

### 1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra são uma ameaça global significativa (Rong et al.,2020), sendo uma preocupação acentuada no Brasil, especialmente em regiões costeiras e no sudeste do país (Lacerda, 2004). A falta de documentação adequada, principalmente em áreas rurais, muitas vezes subestima o impacto real desses

eventos, colocando comunidades em situações de vulnerabilidade devido à pobreza, falta de acesso a serviços básicos e dependência dos recursos naturais (Pandey e Jha, 2012).

As consequências dos deslizamentos estão diretamente ligadas à sua magnitude, à vulnerabilidade e ao valor dos elementos expostos, como edificações e infraestruturas. A redução da magnitude de deslizamentos é desafiadora, tornando crucial o estudo da exposição e vulnerabilidades das infraestruturas e comunidades no contexto da análise de riscos de desastres (Birkmann et al. 2017).

O termo vulnerabilidade tem diferentes significados na literatura. Na perspectiva das ciências naturais e engenharia, a qual é empregada no presente estudo, a vulnerabilidade é avaliada como o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, sujeitos a um deslizamento de terras de um determinado tipo e intensidade, expressa em uma escala de 0 (sem danos) a 1 (perda total) (UNDR0, 1991). Para edifícios e infraestruturas, a perda é determinada pela extensão dos danos em relação ao valor total das estruturas.

A avaliação da vulnerabilidade física permite a identificação dos elementos expostos que são mais suscetíveis a sofrerem danos e perdas na ocorrência de deslizamentos de terra. Não há uma metodologia unificada para classificar e avaliar a vulnerabilidade física dos elementos expostos a diferentes tipos e magnitudes de deslizamentos (Glade e Crozier, 2005). Neste estudo, para avaliar a vulnerabilidade física das edificações e das infraestruturas, utilizou-se uma abordagem baseada em indicadores, quantificando a intensidade dos deslizamentos de terra e a resistência dos elementos expostos.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo possui 7,3 km<sup>2</sup> e está localizada no município de Barra do Turvo (SP), situado na região sudeste do Brasil (Figura 1). A região abrange uma faixa de domínio demarcada por uma extensão de 150 m e de cada lado dos 30 km da Rodovia Régis Bittencourt. A rodovia é o principal corredor que liga os mais importantes polos econômicos da região sudeste ao sul do território nacional, apresentando um elevado volume diário de usuários e trânsito de mercadorias (Ichihara, 2008). Aproximadamente 60% da ocupação humana está no interior das unidades de conservação e concentra-se ao longo do trecho de influência da rodovia (Cortez et al., 2004). Com uma população de 6.875 habitantes (IBGE, 2022) e um contingente populacional concentrado em áreas rurais, a maioria da população no município está envolvida em atividades agrícolas, pecuárias e exploração extrativista (França, 2005).

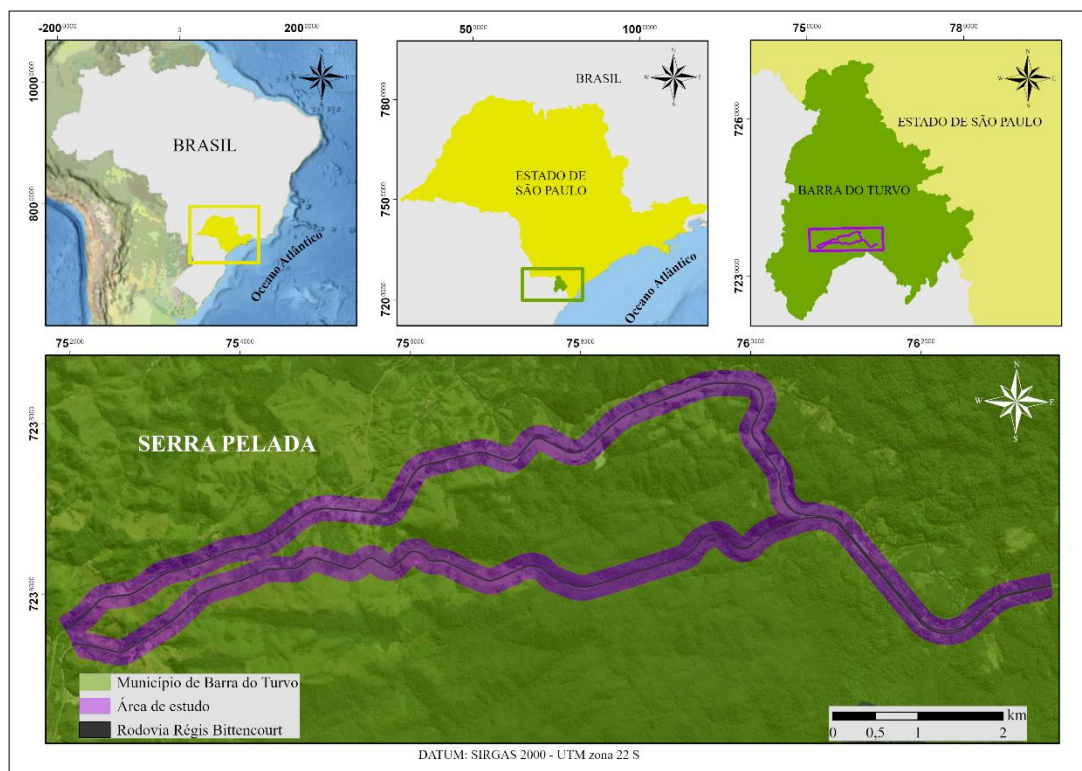


Figura 1. Localização da área de estudo.

Localizada na escarpa da Serra do Mar, a região é caracterizada por encostas extensas e inclinações acentuadas, acompanhadas por vales profundos e relativamente estreitos, com variações altitudinais que vão de 100 a 200 m em áreas mais baixas, junto à Depressão Tectônica do Baixo Ribeira, a altitudes entre 1000 e 1200 m nas porções mais elevadas. As altitudes médias predominantes situam-se na faixa de 700 a 900 m (Ross, 2002). A Serra do Mar é caracterizada pela ocorrência de diversos deslizamentos, geralmente na forma de movimentos translacionais rasos (Riedel, 2010). As características físicas e socioeconômicas da região, juntamente com a ocupação irregular nas margens da rodovia, refletem em sua vulnerabilidade física, influenciando diretamente nas magnitudes das consequências dos deslizamentos.

### 3 METODOLOGIA

Na análise da vulnerabilidade dos elementos expostos a deslizamentos de terra, foi adotada uma adaptação do modelo quantitativo proposto por Singh et al. (2019). Esse modelo utiliza uma fórmula empírica baseada no trabalho de Li et al. (2010), onde a vulnerabilidade física ( $V$ ) é considerada como uma função da intensidade ( $I$ ) da ameaça associada aos elementos expostos e da capacidade de resistência ( $R$ ) desses elementos para enfrentar a ameaça (Eq. 1). Nessa equação, a intensidade ( $I$ ) e a resistência ( $R$ ) são expressas em termos adimensionais com valores variando entre 0 e 1. O modelo original proposto por Singh et al. (2019) foca exclusivamente nas edificações da região de interesse. No entanto, neste estudo, foram feitas adaptações para ampliar a avaliação além das edificações, abrangendo também as infraestruturas.

$$V = f(I, R) = \begin{cases} 2 \frac{I^2}{R^2} & \frac{I}{R} \leq 0,5 \\ 1,0 - \frac{2(R-I)^2}{R^2} & 0,5 < \frac{I}{R} \leq 1,0 \\ 1,0 & \frac{I}{R} > 1,0 \end{cases} \quad (1)$$

#### 3.1 Intensidade dos Deslizamentos e Resistência dos Elementos Expostos

Na definição da intensidade ( $I$ ), foram considerados os parâmetros de volume e velocidade dos deslizamentos de terra. Esses parâmetros podem ser obtidos por métodos empíricos, analíticos simplificados ou simulação numérica (Li et al., 2010). Dada a falta de dados históricos sobre os parâmetros de intensidade dos deslizamentos na área de estudo, foram utilizadas equações empíricas.

Inicialmente, procedeu-se à elaboração de um inventário utilizando a abordagem de interpretação visual, com imagens pretéritas do *Google Earth*, abrangendo o período de 2012 a 2022. O volume médio dos deslizamentos foi obtido por meio do produto da área da superfície do deslizamento pela profundidade estimada da superfície de ruptura, com valor utilizado de 1,0 m. De acordo Dias et al. (2022) embora haja diferenças, em decorrência das variações na litologia, na Serra do Mar foram observadas profundidades de ruptura variando entre 0,7 e 2,0 m, e resultados de modelagem matemática em diferentes áreas considerando o valor de  $h$  igual à 1,0 m para a profundidade média de ruptura, foram os que produziram uma correspondência razoavelmente precisa com os volumes de eventos medidos.

A velocidade dos deslizamentos foi determinada utilizando o método proposto por Marinelli et al. (2022), uma abordagem morfométrica baseada na espacialização do método da Linha de Energia. Essa metodologia foi aplicada ao Modelo Digital de Elevação (MDE) dos polígonos obtidos do inventário, resultando nas velocidades máximas de cada polígono. Com os valores de volume médio e velocidade média dos polígonos, a intensidade dos deslizamentos foi estimada utilizando uma matriz de intensidade proposta por Singh et al. (2018). A resistência ( $R$ ) de um elemento está relacionada à sua capacidade de suportar um deslizamento de terra sem sofrer danos significativos. A resistência foi calculada usando a equação proposta por Li et al. (2010) (Eq. 2).

$$R = \left( \prod_{i=1}^n \beta_i \right)^{1/n} \quad (2)$$

Onde,  $\beta_i$  representa o  $i$ -ésimo valor de  $n \geq 1$  fatores de resistência (expressos em termos adimensionais) contribuindo para a definição de diferentes categorias. Os valores estimados foram classificados em três

categorias, propostas por Singh (2019), correspondentes à baixa ( $R \leq 0,5$ ), média ( $0,5 < R \leq 0,9$ ) e alta resistência ( $0,9 < R \leq 1,0$ ).

Foram mapeadas 144 edificações, sendo consideradas algumas edificações fora da faixa de domínio, mas próximas o suficiente para serem diretamente afetadas em caso de deslizamentos de terra. Os fatores de resistência das edificações foram escolhidos com base em levantamentos e pesquisas anteriores sobre vulnerabilidade (Li et al. 2010 e Singh et al., 2019). Quatro fatores foram considerados: tipologia estrutural, número de pavimentos, qualidade da construção e estado de manutenção, cada um atribuindo valores de resistência em uma escala de 0 (menos resistente) a 1 (mais resistente), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de resistência atribuídos às edificações e infraestruturas.

Elementos	Fator	Descrição	Valor	
Edificações	Tipologia estrutural ( $\beta_{te}$ )	Concreto	1,00	
		Metal	0,80	
		Tijolo	0,50	
		Madeira	0,10	
	Número de pavimentos ( $\beta_{np}$ )	$\geq 5,6$	1,00	
		3,4	0,75	
		2	0,50	
		1	0,25	
	Qualidade da construção ( $\beta_{qc}$ )	Alta	1,00	
		Média	0,50	
		Baixa	0,25	
	Estado de manutenção ( $\beta_{em}$ )	Excelente	1,00	
Bom		0,75		
Médio		0,50		
Ruim		0,25		
Infraestruturas	Vias terrestres	Tipo de material ( $\beta_{tm}$ )	Concreto	1,00
			Asfáltico	0,90
		Tipo de via ( $\beta_{tv}$ )	Paralelepípedos	0,70
			Revestimento superficial	0,50
			Terra batida	0,30
	Espessura do pavimento ( $\beta_{ep}$ )	Rodovia principal	1,00	
		Rodovia secundária	0,80	
		Estrada vicinal	0,50	
	OAEs	Estado de manutenção e conservação ( $\beta_{mc}$ )	Pavimento espesso	1,00
			Pavimento médio	0,80
			Pavimento delgado	0,50
		Tipo de material ( $\beta_{tm}$ )	Alto	1,00
			Bom	0,80
			Moderado	0,60
			Baixo	0,30
		Projeto estrutural ( $\beta_{pe}$ )	Aço	1,00
Concreto			0,90	
Madeira	0,70			
Alvenaria	0,60			
Estado de manutenção e conservação ( $\beta_{mc}$ )	Avançado	1,00		
	Convencional	0,80		
	Simplificado	0,60		
	Desatualizado	0,20		
	Excelente	1,00		
Estado de manutenção e conservação ( $\beta_{mc}$ )	Bom	0,80		
	Regular	0,60		
	Precário	0,40		
	Ruim	0,20		



No contexto das infraestruturas, foram considerados os 30 km da rodovia Régis Bittencourt, que atravessa a região, os 300 m da estrada municipal Ribeirão do Veado-Perebá, os 5 km das estradas rurais e as Obras de Artes Especiais (OAE), compreendendo 7 pontes e 3 viadutos. Os dados relativos à rodovia e às OAEs foram fornecidos pela concessionária Arteris, enquanto as informações sobre a estrada municipal e as estradas rurais foram obtidas por meio de imagens aéreas. Dado o limitado número de estudos na literatura que calcularam a resistência de vias terrestres e OAEs, este estudo necessitou da seleção de fatores relevantes e suas classes para avaliar a resistência dessas infraestruturas. A resistência dessas estruturas depende de diversos parâmetros utilizados no projeto de engenharia, dos materiais empregados e das técnicas construtivas. Entretanto, devido à ausência de alguns dados relativos a essas propriedades, estimativas dos valores de resistência foram realizadas, limitadas a certas generalizações.

Na análise da resistência, as vias terrestres (rodovia, estrada municipal e estradas rurais) foram separadas das OAEs (pontes e viadutos). Para as vias terrestres, foram considerados quatro fatores de resistência:  $\beta_{tm}$  que corresponde ao fator de resistência em função do tipo de material da via terrestre,  $\beta_{tv}$  é o fator de resistência decorrente do tipo de via,  $\beta_{ep}$  que corresponde ao fator de resistência para a espessura do pavimento e  $\beta_{mc}$  que refere-se ao fator de resistência para o estado de manutenção e conservação. As classes de cada fator de resistência e os seus valores são apresentados na Tabela 1.

Para as OAEs foram selecionados três fatores de resistência, que são:  $\beta_{tm}$  referente ao tipo de material,  $\beta_{pe}$  fator do projeto estrutural e  $\beta_{mc}$  corresponde ao estado de manutenção e conservação. A definição dos fatores de resistência visa garantir a abrangência da metodologia, considerando diferentes cenários. Mesmo ausentes em uma área específica, os fatores podem ser aplicados em outras regiões, levando em conta variações regionais.

Em relação aos valores das classes dos fatores para o cálculo da resistência, a atribuição visou considerar e abranger diferentes cenários e condições de uso. Cada classe de fatores foi definida considerando os aspectos relevantes para a resistência e desempenho das vias terrestres e OAEs. Os valores dos fatores foram estabelecidos com base em estudos técnicos e experiência prática, buscando refletir a realidade e promover a segurança das vias terrestres e OAEs. A possibilidade de revisão e atualização desses valores é fundamental para acompanhar os avanços e garantir a aplicação das melhores práticas e conhecimentos disponíveis. É importante ressaltar que, para diferentes regiões ou contextos específicos, podem ser necessários valores de fatores de resistência diferentes, levando em consideração as condições locais, materiais disponíveis e normas específicas. Portanto, a flexibilidade na revisão e adaptação dos valores é essencial para garantir a adequação das estruturas às características e necessidades específicas de cada localidade.

#### 4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O inventário realizado na área de estudo permitiu a identificação de 20 deslizamentos de terra do tipo translacional raso. A partir das áreas dos polígonos resultantes do mapeamento dos deslizamentos pretéritos, foi calculado o volume médio de 205,8 m<sup>3</sup>. Posteriormente, o volume estimado foi classificado na categoria "baixo", seguindo a proposta de Sarkar et al. (2015). Com relação à velocidade média, a aplicação dos parâmetros geométricos dos polígonos obtidos no inventário dos deslizamentos, resultou em uma velocidade média estimada de 5,26 m/s<sup>2</sup>. De acordo com a escala de velocidade proposta por Cruden e Varnes (1996), a velocidade obtida corresponde a deslizamentos extremamente rápidos. Baseado na matriz de intensidade dos deslizamentos apresentada por Singh et al. (2019), a intensidade dos deslizamentos (I) foi classificada como moderada, com um valor de 0,4 em uma escala que varia de 0 a 1.

Ao analisar a distribuição das diferentes categorias dos fatores de resistência, verificou-se que a maioria das edificações é construída com alvenaria, representando 77% do total. O uso de madeira é encontrado em 30%, enquanto as edificações de concreto correspondem a apenas 2% do conjunto, compreendendo as instalações de uma praça de pedágio presente na área de estudo. No que diz respeito ao número de pavimentos, a grande maioria, ou seja, 96%, possui apenas 1 pavimento, enquanto 2% possuem 2 pavimentos. As edificações da praça de pedágio, devido à presença de subsolo, foram classificadas com 3 pavimentos, representando 2% do total. Quanto à qualidade das construções, constatou-se que 64% das edificações apresentam baixa qualidade, apresentando deficiências significativas em termos de projeto e construção. Tal resultado pode ser atribuído a diversos fatores, tais como falta de regulamentação adequada, uso de materiais inadequados, métodos construtivos inapropriados e ausência de inspeção e supervisão durante o processo de construção. Em relação ao estado de manutenção, também

64% das edificações foram classificadas como ruim. Esse estado de manutenção reflete a falta de cuidado, deterioração, desgaste ou negligência em relação à manutenção adequada.

Em relação à distribuição dos tipos de edificações presentes na área de estudo, verificou-se que 88% são residências, 4% correspondem a edificações comerciais, abrangendo lanchonetes, pesqueiros e uma oficina mecânica, e 8% são classificadas como outros tipos de edificações, incluindo igrejas, uma praça de pedágio e as edificações do Parque Estadual do Rio Turvo. As resistências das edificações apresentaram valores que variaram de 0,20 a 0,93, onde 2% das edificações possuem alta resistência ( $R \geq 0,9$ ), 5% possuem resistência moderada ( $0,5 > R < 0,9$ ) e predominantemente 93% das edificações apresentam baixa resistência ( $R \leq 0,5$ ). Devido à maioria das edificações na área de estudo pertencer a uma população de baixa condição socioeconômica, essas construções possuem uma capacidade de resistência limitada. Também se destaca que a maioria das edificações estão localizadas em áreas irregulares, em terrenos acidentados e que não foram submetidas a projetos realizados por profissionais de engenharia, logo não foram aplicadas técnicas de construção resistentes a deslizamentos. Dessa forma, grande parte das edificações analisadas demonstraram possuir uma capacidade de resistência reduzida diante de tais eventos.

Com base nas características e nos dados sobre as infraestruturas da região de estudo, foram atribuídos os valores referentes aos fatores de resistência e foram calculadas as resistências das vias terrestres e das OAEs. As resistências das vias terrestres apresentaram valores que variaram de 0,39 a 0,92 e as OAEs um valor mínimo de 0,81 a um valor máximo de 0,90. A rodovia, a estrada municipal e as estradas rurais, ficaram cada uma em uma classe de resistência, correspondendo à alta ( $R \geq 0,9$ ), moderada ( $0,5 > R < 0,9$ ) e baixa resistência ( $R \leq 0,5$ ), respectivamente. Em relação às OAEs nenhuma apresentou baixa resistência ( $R \leq 0,5$ ), 22% apresentaram resistência moderada ( $0,5 > R < 0,9$ ) e 78% alta resistência ( $R \geq 0,9$ ).

A elevada resistência observada para a rodovia indica que a via está em boas condições e possui uma estrutura robusta capaz de suportar as cargas e condições de serviço esperadas. A estrada municipal, com resistência moderada, aponta para algumas limitações, porém ainda possui condições aceitáveis de segurança e desempenho. Por outro lado, as estradas rurais foram classificadas como tendo uma baixa resistência, indicando que podem necessitar de atenção especial devido a possíveis deficiências estruturais. Quanto às OAEs, é importante ressaltar que nenhuma delas foi classificada como tendo baixa resistência, o que é um indicativo positivo em termos de segurança estrutural, especialmente quando consideramos a ocorrência de deslizamentos de terra. Essa classificação indica que as OAEs possuem uma estrutura confiável, capaz de suportar as cargas e as condições de serviço esperadas. No entanto, é essencial destacar também que duas OAEs apresentaram resistência moderada, indicando que essas estruturas podem exigir um monitoramento mais frequente e a implementação de possíveis intervenções para garantir a sua durabilidade e segurança ao longo do tempo.

#### 4.1 Vulnerabilidade Física dos Elementos Expostos

A distribuição da vulnerabilidade física foi calculada a partir dos valores de intensidade dos deslizamentos ( $I=0,4$ ) em uma escala que varia de 0 a 1 e da resistência dos elementos expostos na área de estudo, a qual apresenta distribuição espacial apresentada na Figura 2, onde visualiza-se a vulnerabilidade física das edificações (Figura 2 A, B, C); vulnerabilidade física das infraestruturas - Vias terrestres (Figura 2D); e vulnerabilidade física das infraestruturas - OAEs (Figura 2E). A vulnerabilidade física, para as 144 edificações apresentaram uma variabilidade de 0,37 a 1,00. Somente 2% das edificações apresentam baixa vulnerabilidade ( $V \leq 0,4$ ), 5% possuem alta vulnerabilidade ( $0,6 < V \leq 0,8$ ), enquanto 93% das edificações foram classificadas com elevadas vulnerabilidades ( $0,8 < V \leq 1,0$ ). Os valores mais baixos de vulnerabilidade correspondem às edificações da praça de pedágio, as quais são projetadas levando em consideração critérios de segurança e resistência estrutural. Dessa forma, as edificações são construídas seguindo normas e regulamentos específicos, incluindo requisitos de engenharia e construção para garantir a estabilidade e resistência.

A predominância de altos valores de vulnerabilidade física demonstram a fragilidade das edificações da região. Uma das principais razões para a alta vulnerabilidade é a situação socioeconômica desfavorável da população local, o que reflete na ausência de recursos financeiros para investir em edificações resistentes e seguras, tornando-as mais suscetíveis a danos e colapsos. Outro fator está relacionado à falta de conhecimento e aplicação de técnicas construtivas adequadas. A ausência de profissionais qualificados durante o processo de construção leva à utilização de materiais inadequados e técnicas construtivas precárias, comprometendo a estabilidade e resistência das edificações. Por fim, temos também a localização dessas edificações, que são frequentemente construídas em

áreas irregulares. Sendo assim, a falta de controle e regulamentação na ocupação do solo contribui para a construção de edificações em locais de risco, aumentando significativamente a probabilidade de ocorrência de danos graves nas estruturas durante eventos de deslizamento de terra.

Em relação à vulnerabilidade física das infraestruturas, para as vias terrestres, temos a rodovia com um valor de vulnerabilidade de 0,38, a estrada municipal com 0,47 e as estradas rurais com 1,00. Esses valores refletem a vulnerabilidade das vias terrestres aos impactos e danos causados por deslizamentos de terra. A rodovia apresenta uma menor vulnerabilidade, indicando que possui características e medidas de segurança que reduzem sua exposição e os efeitos de um deslizamento. A estrada municipal, por sua vez, possui uma vulnerabilidade um pouco maior, demonstrando uma menor capacidade de resistência. Já as estradas rurais apresentam a maior vulnerabilidade, indicando que estão mais propensas a sofrer danos significativos.

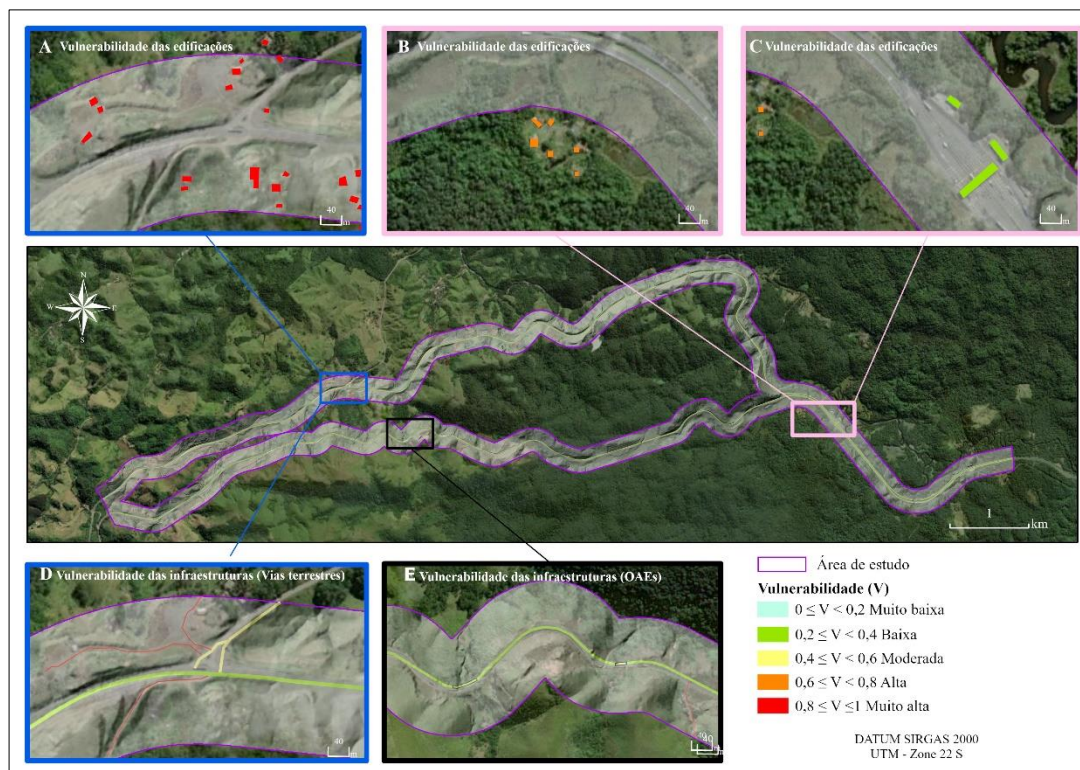


Figura 2. Mapa da vulnerabilidade física dos elementos expostos.

Quanto a vulnerabilidade física das OAEs (7 pontes e 3 viadutos), a maioria das estruturas apresentou um valor de 0,40, o que indica uma resistência moderada. Isso sugere que essas OAEs possuem capacidade de resistir aos efeitos de deslizamentos, embora possam sofrer danos, são menos propensas a falhas graves. No entanto, duas OAEs apresentaram vulnerabilidade de 0,48, o que indica que estão mais expostas aos efeitos de deslizamentos e possuem uma capacidade de resistência um pouco menor em comparação com as demais. Os resultados evidenciam que a avaliação da vulnerabilidade física das edificações e infraestruturas é de extrema importância para identificar áreas de maior risco e direcionar medidas de prevenção e mitigação adequadas, garantindo a segurança e funcionalidade dessas infraestruturas em situações de deslizamentos de terra. Sendo assim, a aplicação da metodologia proposta neste estudo pode ser valiosa para outras regiões, auxiliando no desenvolvimento de estratégias eficazes para redução dos riscos de deslizamentos de terra e aumento da resiliência das comunidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Birkmann, J., Sorg, L., Welle, T. (2017) Disaster Vulnerability. *The Palgrave Handbook of Unconventional Risk Transfer*, p.329-356.
- Cortez, G. R. de P., Arzolla, F. A. R. P., Vilela, F. E. S. P. (2004) A ocupação humana irregular na faixa de influência da rodovia Régis Bittencourt (BR 116) e a degradação das florestas na porção central do parque estadual de Jacupiranga. *Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*, p. 298-306.



- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. *Transportation research board special report*, 247.
- Dias, V. C., Mcdougall, S., Vieira, B. C. (2022) Geomorphic analyses of two recent debris flows in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 113, p.103675.
- França, A. M. (2005) *Vale do Ribeira (SP): Proposições econômicas, sociais, políticas e ambientais para o crescimento e desenvolvimento sustentável dos municípios da região administrativa de Registro*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Economia Política, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo / PUC, 323 p.
- Glade, T.; Crozier, M. J. (2005) *The nature of landslide hazard and impact*. Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M. J. (Eds) *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, p.43-74.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022) *Censo Demográfico*. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- Ichihara, S. M., Guilhoto, J. J. M. (2008) O impacto do crescimento econômico nas rodovias paulistas: uma aplicação do modelo insumo-produto combinado com SIG. *SSRN Eletrônico. J.*, p.1-35.
- Lacerda, W. (2004) *The behavior of colluvial slopes in a tropical environment*. Lacerda, W.; Ehrlich, M.; Fontoura, S. A. B.; Sayão, A. S. F. (Eds.) *Landslides - Advances in Evaluation and Stabilization*. Proceedings of the Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brazil, p.1315-1342.
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., Lacasse, S. (2010) Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*, v.7, n.2, p.125-134.
- Marinelli, A., Medici, C., Rosi, A., et al. (2022) Shallow Landslides and Rockfalls Velocity Assessment at Regional Scale: A Methodology Based on a Morphometric Approach. *Geosciences (Switzerland)*, v.12, n.4, p.177.
- Pandey, R., Jha, S. K. (2012) Climate Vulnerability Index - Measure of Climate Change Vulnerability to Communities: A Case of Rural Lower Himalaya, India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.17, n.5, p.487-506.
- Riedel, P. S., Gomes, A. R., Ferreira, M. V., Sampaio Lopes, E. S., Sturaro, J. R. (2010) Identification of landslide scars in the region of the Serra do Mar, São Paulo State, Brazil, using digital image processing and spatial analysis tools. *GIScience Remote Sens.*, v.47, p.498-513.
- Rong, G., Li, K., Han, L., Alu, S., Zhang, J., Zhang, Y. (2020) Hazard mapping of the rainfall-landslides disaster chain based on geodetector and bayesian networkmodels in Shuicheng county, China. *Water (Switzerland)*, v.12, n.9, p.1-25.
- Ross, J. L. S. (2002) A Morfogenese da bacia do Ribeira do Iguape e os sistemas ambientais. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v.6, n.2, p.21-46.
- Sarkar, S.; Kanungo, D. P.; Sharma, S. (2015) Landslide hazard assessment in the upper Alaknanda valley of Indian Himalayas. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6, 4, 308-325.
- Singh A.; Kanungo D. P.; Pal, S. (2018) A modified approach for semiquantitative estimation of physical vulnerability of buildings exposed to different landslide intensity scenarios. *Georisk*, v.13, n.1, p.66-81.
- Singh, A., Kanungo, D. P.; Pal, S. (2019) Physical vulnerability assessment of buildings exposed to landslides in India. *Nat Hazards*, v.96, n.2, p.753-790.
- UNDRO. United Nations Disaster Relief Organization. (1991) *Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options: a manual for policy makers and planners*, p.164.