Mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos: uma revisão sistemática

Mapping of landslides vulnerability: a systematic review

Victor Anthony Ribeiro Rodrigues Lopes[1]

Diogo de Freitas Inojosa[2]

Andrea Flávia Tenório Carneiro[3]

RESUMO: Deslizamentos de terra contribuem para perdas humanas e materiais em todo o mundo anualmente, atingindo a sociedade em diferentes magnitudes. Configurados como eventos de alta variabilidade espacial e intensidade afetada por ações antrópicas, definir o risco a estes eventos como o produto de ameaça, suscetibilidade, vulnerabilidade e capacidade de resposta exige a consideração de vários fatores, segundo o Marco de Sendai. Sendo a vulnerabilidade uma condição multidimensional aplicável a um indivíduo, comunidade, bens ou sistemas em função de impactos de risco, seu mapeamento neste contexto torna-se essencial para desenvolvimento de políticas públicas, mas costuma ser subestimado ou substituído por análises de suscetibilidade. Diante disso, este estudo realizou uma revisão sistemática a respeito do mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos segundo o protocolo PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) a fim de identificar no estado da arte da produção científica as tendências metodológicas, as limitações e a clarificação terminológica. Os resultados mostram a tendência de abordagens semi-quantitativas utilizando análises de decisão multicritério, dificuldades enfrentadas quanto à escassez de dados e escala de representação, bem como os diferentes aspectos da vulnerabilidade operacionalizados e o impasse conceitual das terminologias.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, mapeamento, deslizamentos, revisão sistemática, risco.

ABSTRACT: Landslides contribute to human and material losses worldwide every year, affecting society in varying degrees. As events characterized by high spatial variability and intensity influenced by human activities, defining the risk of these events as the product of hazard, susceptibility, vulnerability, and response capacity—requires consideration of various factors, according to the Sendai Framework. Since vulnerability is a multidimensional condition applicable to an individual, community, assets, or systems in relation to risk impacts, mapping it in this context is essential for the development of public policies, yet it is often underestimated or replaced by susceptibility analyses. In light of this, this study conducted a systematic review on landslide vulnerability mapping following the PRISMA-ScR protocol (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) to identify methodological trends, limitations, and terminological clarification in the current state of scientific literature. The results show a trend toward semi-quantitative approaches using multi-criteria decision analysis, difficulties encountered due to data scarcity and scale of representation, as well as the different aspects of vulnerability that have been operationalized and the conceptual impasse regarding terminology.

Keywords: Vulnerability, mapping, landslides, systematic review, risk.

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra constituem entre os processos geodinâmicos que mais contribuem para perdas humanas e materiais associadas a desastres naturais, sobretudo em contextos de ocupação urbana desordenada e agravamento de eventos pluviométricos

[1] Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências / victor.anthonyl@ufpe.br
[2] Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências / diogo.finojosa@ufpe.br
[3] Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências / andrea.carneiro@ufpe.br

extremos. Diferentemente de outras ameaças naturais, os deslizamentos combinam elevada variabilidade espacial e temporal com forte dependência de fatores antrópicos, como uso e ocupação do solo, impermeabilização, disposição de resíduos e precariedade de infraestrutura, condição que torna sua análise um problema simultaneamente geotécnico e socioterritorial.

O Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 (UNDRR, 2015) consolidou, no plano internacional, um deslocamento paradigmático da resposta a desastres para a compreensão e a gestão preventiva do risco. Entre suas quatro prioridades de ação, a primeira, "compreender o risco de desastres", estabelece que o risco deve ser entendido a partir da interação entre ameaça (*hazard*), exposição, vulnerabilidade e capacidade de resposta, reconhecendo explicitamente a vulnerabilidade como uma condição multidimensional, associada a fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, e não como sinônimo de suscetibilidade física do terreno. Essa distinção conceitual é central para a presente revisão: embora a literatura técnica em geociências por vezes utilize "vulnerabilidade" para designar a predisposição físico-geotécnica de um deslizamento de terra, domínio que, com maior precisão terminológica, corresponde ao conceito de suscetibilidade, a definição adotada pelo Marco de Sendai e por parte da literatura de gestão de risco (Lima e Amorim, 2023) reserva o termo vulnerabilidade para as condições que ampliam a exposição e reduzem a capacidade de resposta de grupos sociais frente à ameaça.

Essa ambiguidade conceitual tem consequências práticas relevantes: mapas rotulados como "de vulnerabilidade" podem, na realidade, representar apenas a suscetibilidade do terreno, negligenciando os componentes socioeconômicos que determinam quem, de fato, está mais exposto a perdas. Em contextos como o brasileiro, onde parcela significativa da população em áreas de risco ocupa assentamentos informais e territórios historicamente sub-infraestruturados, essa distinção não é apenas terminológica: ela condiciona, às populações efetivamente mais vulneráveis, a adequação dos instrumentos de gestão territorial, como o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR) e os sistemas de alerta.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo mapear o estado da arte da produção científica sobre mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos de terra, identificando tendências metodológicas, técnicas e tecnológicas empregadas, bem como examinando como o próprio conceito de vulnerabilidade tem sido operacionalizado, sendo por vezes confundido com suscetibilidade, nos estudos recentes (2020-2025). Para tanto, foi conduzida uma revisão de estado da arte, estruturada por meio de um protocolo sistemático de seleção de estudos baseado no PRISMA, em sua extensão para revisões de escopo (PRISMA-ScR; TRICCO *et al.*, 2018). A opção pelo desenho de revisão de escopo, justifica-se pelo caráter conceitual e exploratório da questão de pesquisa, centrada no mapeamento de abordagens metodológicas e na clarificação terminológica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo segue o protocolo PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews; TRICCO *et al.*, 2018), adotado por ser a extensão do PRISMA recomendada para revisões cujo objetivo é mapear a extensão, a natureza e as principais características da produção científica sobre um tema, e não avaliar o efeito de uma intervenção. Em conformidade com essa diretriz, o processo foi estruturado em três fases: (1) identificação e seleção das fontes de evidência; (2) extração e síntese dos dados; (3) análise sistemática.

2.1 Fase 1: Identificação e seleção das fontes de evidência

- Identificação: a pesquisa foi realizada em 31 de maio de 2026 na base de dados Scopus, por meio de acesso institucional via Periódicos Capes, utilizando os termos "Vulnerability" AND "Mapping" AND "Landslide" em título, resumo ou palavras-chave. Foram identificados 631 documentos.
- Triagem: aplicaram-se critérios de exclusão quanto ao período de publicação (2020-2025), tipo de documento (artigo), idioma (inglês e português) e tipo de fonte (periódico), resultando em 210 documentos.
- Elegibilidade: os 210 documentos resultantes da triagem foram divididos em dois lotes de tamanho equivalente, cada um avaliado por um dos dois avaliadores com base na leitura de títulos e resumos, sendo selecionados os artigos relacionados à investigação da vulnerabilidade no fenômeno de deslizamentos de terra, como foco principal ou complementar. Essa etapa resultou em 82 artigos elegíveis.
- Inclusão: os 82 artigos elegíveis foram igualmente divididos em dois lotes de tamanho equivalente, cada um lido na íntegra e avaliado por um dos dois avaliadores, segundo os critérios de elegibilidade, para fins de extração e síntese dos dados. As exclusões definidas por cada avaliador foram submetidas a uma etapa de verificação dupla pelo avaliador responsável pelo outro lote. Esta etapa resultou na inclusão de 54 artigos que compõem os resultados da revisão sistemática descritos neste trabalho.

A divisão dos registros em lotes exclusivos entre os avaliadores, sem duplicação sistemática de julgamento, foi adotada tanto na etapa de elegibilidade quanto na etapa de inclusão, por razões de exequibilidade do processo diante do volume de documentos analisados. Como limitação, ressalta-se que a etapa de inclusão não contou com verificação cega das inclusões (apenas das exclusões), o que deve ser considerado na interpretação da amostra final.

Em conformidade com as diretrizes do PRISMA-ScR, não foi realizada avaliação crítica formal do risco de viés dos estudos incluídos, uma vez que o objetivo desta revisão é mapear a extensão e caracterizar as abordagens metodológicas empregadas na produção científica sobre o tema, e não sintetizar um efeito ou avaliar a força de evidências entre estudos.

2.2 Fase 2: Extração e síntese dos dados

Os artigos incluídos foram submetidos a um processo estruturado de extração de dados (*data charting*), realizado de forma independente por dois avaliadores, cada um responsável pela leitura integral e extração dos artigos de seu respectivo lote, utilizando um instrumento com 30 campos organizados em cinco blocos temáticos: (i) informações sobre a publicação (4 campos); (ii) área de estudo e objetivos (8 campos); (iii) materiais e métodos, incluindo instrumentos, softwares, metodologia de processamento e validação (8 campos); (iv) contribuições do estudo (3 campos); (v) resultados (7 campos).

A síntese dos dados extraídos seguiu abordagem narrativa e temática, agrupando os estudos segundo: (a) tendências metodológicas e tecnológicas; (b) uso e definição do conceito de vulnerabilidade frente à suscetibilidade; (c) dados e indicadores utilizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise sistemática dos 54 artigos incluídos foram destacadas as características do

tipo de abordagem aplicada, os métodos e/ou técnicas utilizados para avaliação de vulnerabilidade, bem como os tipos de vulnerabilidade e os diferentes indicadores mais utilizados nas análises. Para melhor delimitação de tendência, os 10 artigos mais citados e os 10 artigos com maior número de citações por ano de publicação também foram identificados, totalizando 13 artigos, para o destaque das características abordadas nesta seção. Por fim, o panorama geral desta revisão sistemática é discutido por meio das limitações e sugestões encontradas ao longo das publicações, bem como o cálculo de percentual de concordância e do índice Kappa de Cohen e as dificuldades encontradas na produção deste trabalho.

3.1 Percentual de concordância e índice Kappa de Cohen (Seleção dos estudos e confiabilidade do processo)

Da base de dados Scopus, a estratégia de busca identificou 631 documentos, dos quais 210 restaram após a etapa de triagem por período, tipo de documento, idioma e tipo de fonte. Os 210 documentos foram divididos em dois lotes de tamanho equivalente, cada um avaliado por um dos dois avaliadores com base na leitura de títulos e resumos, resultando em 82 artigos elegíveis.

Para verificar a consistência da divisão de lotes na etapa de elegibilidade, foi realizada uma calibração retroativa em duas amostras aleatórias de 20 registros cada, extraídas dos lotes originais de cada avaliador e reavaliadas de forma cega pelo avaliador oposto, totalizando 40 registros (≈19% dos 210 triados). No lote originalmente do segundo avaliador, revalidado pelo pelo primeiro avaliador, obteve-se percentual de concordância bruta de 80% (16 de 20 itens) e índice Kappa de Cohen de 0,588. No lote originalmente avaliado pelo primeiro avaliador, revalidado pelo segundo avaliador, obteve-se percentual de concordância bruta de 75% (15 de 20 itens) e Kappa de 0,500. Consolidando os dois lotes em uma única tabela de contingência (TP=14, TN=17, FP=6, FN=3; n=40), a concordância bruta agregada foi de 77,5% (31 de 40 itens), com Kappa de Cohen agregado de 0,55

Segundo a escala de referência de Landis e Koch (1977), esse valor situa-se na faixa de concordância moderada (0,41-0,60). O resultado indica consistência razoável, mas não elevada, na aplicação dos critérios de elegibilidade entre os dois avaliadores, com 9 dos 40 itens da amostra combinada (22,5%) apresentando divergência, 6 falsos positivos (item considerado elegível por um avaliador e não pelo outro) e 3 falsos negativos. Ressalva-se que, por se tratar de amostra de calibração e não da reavaliação completa do processo, o índice reportado é uma estimativa da confiabilidade do processo de seleção como um todo.

Estes, por sua vez, foram igualmente divididos em dois lotes e lidos na íntegra por cada avaliador para fins de extração e síntese dos dados. A partir da síntese foram selecionados 54 artigos, a Tabela 1 apresenta os 5 motivos para exclusão da análise de revisão de literatura e o número de artigos.

Tabela 1 - Razões da não inclusão de artigos na revisão sistemática

Motivo para não inclusão	N° de artigos
Não produz mapeamento de vulnerabilidade (aparece só como valor constante/atributo pontual na equação de risco)	8
Confusão conceitual, trata vulnerabilidade como sinônimo de suscetibilidade	9
Abordagem qualitativa/social sem produto técnico-geoespacial de mapeamento	4

Foco temático fora do escopo (outro *hazard* ou tema; deslizamento não é o objeto da vulnerabilidade mapeada)	3
Publicação em acesso fechado	3
Objeto de vulnerabilidade fora do escopo (ex.: floresta, não pessoas/bens)	1
Total	28

Fonte: Os autores (2026)

3.2 Tipos de abordagem aplicada

Os métodos de avaliação de risco podem ter suas metodologias classificadas em quantitativas, qualitativas ou semi-quantitativas (também denominadas quali-quantitativas ou qualitativas-semi-quantitativas) (Wang *et al.*, 2021). Enquanto métodos qualitativos baseiam-se na análise e interpretação de especialistas das geociências, os métodos quantitativos tratam da aplicação de métodos estatísticos ou matemáticos, ao passo que os quali-quantitativos representam a junção de duas ou mais abordagens destes tipos.

O conjunto de dados investigado nesta revisão sistemática apresenta uma forte tendência aos métodos quantitativos e semi-quantitativos para o mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos, tendo 22 (41,5%) e 24 (45,3%) aplicações, respectivamente, com apenas 7 artigos (13,2%) que utilizam métodos estritamente qualitativos. Embora por pouco, o maior número de avaliações semi-quantitativas pode ser atribuído em razão de dificuldades quanto à escassez de dados em muitas áreas de estudo, que, por sua vez, é uma grande limitação ao processo de avaliação quantitativa.

Entre os 13 artigos selecionados, observa-se um acompanhamento inicial da tendência por métodos semi-quantitativos (6 aplicações), mas que se altera pois dos 7 artigos estritamente qualitativos, 4 figuram entre os artigos mais relevantes, sendo apenas 3 os estudos que abordam a vulnerabilidade de forma totalmente quantitativa.

3.3 Métodos e técnicas

Os artigos analisados aplicam uma variedade de métodos para o mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos, mas mais da metade dos estudos concentra-se no uso de ferramentas em ambientes SIG ou métodos de análise de decisão multicritério, que contemplam 22 (36%) e 15 (24,6%) das aplicações (Tabela 2). Entre as aplicações de análise multicritério, o mais utilizado é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) em 8 das 15 vezes, já difundido entre estudos de avaliação de vulnerabilidade, perigo e risco de enchentes (Khosravi *et al.*, 2019) pela capacidade de ponderar os indicadores de forma simples. O uso de *deep learning* é encontrado em dois estudos, ambos realizando mais de um mapeamento, a fim de identificar qual apresenta um melhor resultado e pode, portanto, ser integrado a um mapeamento de risco. Nestes casos, os autores decidiram usar duas vezes o *Deep Learning Neural Network* (DLNN), enquanto testaram os modelos de *Artificial Neural Network* (ANN), *Multilayer Perceptron* (MLP) e *Radial Basis Function* (RBF). Alguns estudos avaliaram a vulnerabilidade por métodos que não se enquadram na categorização, sendo descritos como outros métodos, estes abordaram a problemática de uma forma alternativa, seja pela participação de estudantes de ensino médio, a combinação de elementos de propensão e exposição numa matriz de classificação de impacto ou entrevistas com turistas sobre a percepção de risco.

Tabela 2 - Métodos mais usados no mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos

Método	Tipos	Total	%
SIG	SIG	22	36,0
Análise multicritério	AHP, *decision-making trial and evaluation laboratory* (DEMATEL-AHP), VIKOR, *spatial multi-criteria evaluation* (SMCE)	15	24,6
Deep learning	DLNN, ANN, MLP, RBF	6	9,8
Estatísticos	*Entropy weight method* (EWM), *principal component Analysis* (PCA), *frequency Ratio* (FR)	5	8,2
Matemático	Lógica *fuzzy*, teoria da catástrofe	2	3,3
Indicator-based	*Indicator-Based Method* (IBM)	2	3,3
Outros	Mapeamento participativo, matriz de propensão-exposição ao risco, atribuição de pesos por especialistas e população, entrevistas	9	14,8

Fonte: Os autores (2026)

Em conformidade aos resultados do tipo de abordagem, observa-se que os métodos semi-quantitativos consolidam-se principalmente por procedimentos de ponderação de fatores como nas análises de decisão multicritério do método AHP. Embora as abordagens qualitativas costumem ser definidas pela análise de especialistas ou da população residente (Psomiadis *et al*., 2020; Solari *et al*., 2020; Rahman *et al*., 2022), aqui é observada a tendência em 2024 e 2025 de aplicações de ferramentas em SIG que buscam obter a vulnerabilidade por meio da interseção de dados vetoriais dos elementos em risco com mapeamentos de suscetibilidade a deslizamentos (Moghimi *et al*., 2024).

Entre os 13 artigos mais relevantes, esta tendência é melhor demonstrada (Tabela 3), pois a maioria dos trabalhos (5) aplica métodos de análise multicritério, com dois outros grupos de artigos desenvolvendo metodologias similares com o uso de SIG ou de avaliação de vulnerabilidade qualitativa.

Tabela 3 - Métodos e técnicas utilizados nos 13 artigos mais relevantes

Publicação	Método	Tipo
Wang *et al*., 2021	SIG	SIG
Wen *et al*., 2023	Análise multicritério	*Fuzzy cluster* e CRITIC (FC-CRITIC)
Solari *et al*., 2020	Atribuição de pesos	Avaliação de população indígena
Ram e Gupta, 2022	SIG	SIG
Saha *et al*., 2021	*Deep Learning*	DLNN, ANN e CNN
Gao *et al*., 2023	Estatístico	*Entropy weight method* (EWM)
Moghimi *et al*., 2024	SIG	SIG

Psomiadis *et al.*, 2020	Atribuição de pesos	Avaliação dos autores
Rahman *et al.*, 2022	Atribuição de pesos	Avaliação de população indígena e especialistas
Rafiei *et al.*, 2021	Análise multicritério	*Fuzzy*-AHP
Bera, Guru e Oommen, 2020	Análise multicritério	*Fuzzy*-AHP
Pirasteh *et al.*, 2024	Análise multicritério	*Fuzzy*-AHP
Gacu *et al.*, 2025	Análise multicritério	AHP

Fonte: Os autores (2026)

3.4 Tipos de vulnerabilidade

Os 54 artigos também apresentam análises de vulnerabilidade a diferentes elementos expostos ou em risco, acarretando na investigação de diferentes aspectos da condição vulnerável, enfatizando fatores ou processos específicos da vulnerabilidade (Tabela 4). O tipo de vulnerabilidade mais avaliada, 35 vezes ao longo dos artigos (66%), é a vulnerabilidade social, denotando que grande parte dos autores consideram essa a análise mais crítica de modo geral. Em seguida, a vulnerabilidade física, que se refere ao grau de perda de edificações, instalações ou infraestrutura (Ahmad *et al.*, 2025) é avaliada 21 vezes (24,6%). Para melhor compreender esta abordagem, a vulnerabilidade de infraestrutura foi quantificada separadamente. 11 artigos (9,8%) realizaram estudos com enfoque em vulnerabilidade econômica, avaliando o grau de perda financeira dos indivíduos ou instalações afetadas. Por fim, as vulnerabilidades ambiental e ecológica tiveram menor uso e, embora similares, possuem definições distintas. A vulnerabilidade ambiental trata do grau de perda de ambiente natural ou ecossistema (Zou e Yoshino, 2017), estando inclusa nestes resultados por acompanhar análises de vulnerabilidade social, enquanto a ecológica foi considerada por considerar o grau de perda de serviços do ecossistema como de abastecimento (água, comida, madeira), reguladores (carbono disponível, água, erosão), culturais (valor estético, fonte de inspiração, turismo) e de suporte (fotossíntese, ciclos da água e dos nutrientes) (Wolloch, 2020).

Tabela 4 - Tipos de vulnerabilidade mais avaliados

Tipo	**Total**	**%**
Social (pessoas)	35	36,0
Física (edificações, vias, pontes)	21	24,6
Econômica (renda, atividades econômicas, custos)	11	9,8
Infraestrutura (redes de distribuição de água, gás, usinas, serviços)	6	8,2
Ambiental (área florestal, corpos d'água, solo)	4	3,3
Ecológica (serviços do ecossistema)	2	3,3

Fonte: Os autores (2026)

É importante ressaltar que alguns estudos tratam de mais de uma variável. Neste

quesito, a vulnerabilidade social foi analisada em conjunto com todas as outras, sendo com maior frequência associada às variáveis econômica e física (6 vezes).

3.5 Indicadores de vulnerabilidade

Frente às diferentes características de vulnerabilidade observadas, os estudos utilizaram diferentes indicadores como dados de entrada de modelagem ou abordagens qualitativas. A quantificação realizada identificou o uso de 63 categorias de indicadores de vulnerabilidade, sendo então apresentados os 12 mais utilizados (Tabela 5).

Tabela 5 - Indicadores de vulnerabilidade mais utilizados

Indicador	Total	%
Densidade populacional	24	8,9
Idade da população (crianças, idosos, índices)	17	6,3
Uso e cobertura do solo (área construída, cultivada, florestal)	16	5,9
Educação	12	4,4
Densidade de edificações	12	4,4
Gênero/sexo da população	9	3,3
População total	9	3,3
Renda	9	3,3
Emprego, desemprego e condições de trabalho	8	2,9
Tipo de construção	8	2,9
Localização de estradas	8	2,9
Instalações médicas (distância, localização)	7	2,6

Fonte: Os autores (2026)

Refletindo os resultados da seção 3.3, os indicadores provenientes de dados sociais figuram entre os mais utilizados. Embora a densidade populacional seja o indicador mais proeminente, não é suficiente para que uma população seja considerada vulnerável. Assim, diversos autores incluem, em seus indicadores, métricas sobre a idade, gênero e escolaridade da população, considerando as dinâmicas enfrentadas por crianças e idosos em situações de desastre e suas maiores necessidades de cuidado, bem como as dinâmicas de desigualdade sociais e de gênero existentes, que acarretam em impactos socioeconômicos. Além disso, a inclusão de dados de uso e cobertura do solo e/ou de densidade de edificações fornece um maior detalhamento no que diz respeito à distribuição da população no território, como na identificação de áreas mais urbanizadas. Quanto ao total de indicadores usados, a maioria dos autores somente aplica um indicador por vez, mas a média observada é de 8 indicadores por avaliação. A maior quantidade encontrada em um mesmo estudo foi 54 indicadores, das dimensões social, econômica, física, institucional, ambiental e cultural (Ramli e Alias, 2024).

Quando considerados apenas os 13 artigos mais relevantes, a densidade populacional se mantém como o indicador mais importante, utilizada em 5 artigos, seguido do uso de

dados de uso e cobertura do solo e densidade de edificações (4 artigos cada). Ademais, nota-se a tendência ao mapeamento de instalações médicas para situações de emergência ou evacuação, sendo um indicador levado em consideração em 4 publicações. Analogamente à amostra geral, entre as publicações mais relevantes, a maioria dos trabalhos utiliza 3 indicadores, enquanto a média é de 7 indicadores.

3.6 Limitações e sugestões

Entre todos os 54 artigos analisados, uma limitação reconhecida é a escassez de dados, seja na falta de inventários de deslizamentos atualizados e/ou completos, estatísticas populacionais ou tipologia detalhada de edificações, sendo uma dificuldade presente em todas as componentes de vulnerabilidade avaliadas. Isso acarreta, conforme observado nas seções 3.1 e 3.2, na maior aderência a abordagens semi-quantitativas e análises de decisão multicritério que, por sua vez, possuem como limitação uma parcela de subjetividade inerente ao método, dependente das opiniões de terceiros para a avaliação. Outra situação comum é a de incompatibilidade entre as escalas dos dados, se fazendo necessária a reamostragem de dados ou pré-processamentos adicionais que podem afetar os resultados. O nível de detalhamento do mapeamento, seja por meio da resolução espacial e/ou escala dos dados ou do nível administrativo representado, também é um fator a ser considerado nos mapeamentos de vulnerabilidade, uma vez que mapeamentos em menor escala abrangem uma maior área, mas falham em identificar as complexidades locais. Frente a isso, alguns autores decidem avaliar a vulnerabilidade utilizando mapas em escala regional, considerando delimitações por favelas, assentamentos de refugiados ou setores censitários.

Quanto à escolha dos indicadores, como visto na seção 3.4 pela tendência de indicadores utilizados, há muitas publicações que não consideram adequadamente os fatores socioeconômicos na avaliação de vulnerabilidade ao subestimar o número de indicadores deste tipo. Parte das publicações investigadas considera também a ocorrência de fenômenos como enchentes e terremotos, sendo recomendações recorrentes para trabalhos futuros as análises multi-perigo e multirrisco. Há também a demanda de mapeamentos de vulnerabilidade para mapeamentos dinâmicos de risco, com autores sugerindo a consideração de cenários de projeção climática e atualizações contínuas dos mapeamentos.

3.7 Dificuldades encontradas

Ainda na etapa de triagem, uma dificuldade encontrada durante o desenvolvimento deste trabalho foi o impasse conceitual entre os termos suscetibilidade e vulnerabilidade, muitas vezes tratados como palavras sinônimas nos resumos, a seção de documento analisada nesta etapa. A substituição muitas vezes se dá ao utilizar “vulnerabilidade” como substituto de “suscetibilidade”, desconsiderando os aspectos socioeconômicos inerentes a sua definição:

> Condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, de uma comunidade, de bens ou de sistemas aos impactos dos riscos (UNDDR, 2017)

Em meio à literatura analisada, para além do desmembramento dessa definição, como observado na seção 3.3, e do impasse conceitual, há também as ocorrências de conflação explícita entre vulnerabilidade e suscetibilidade, onde autores afirmam tratar estas definições de forma intercambiável. Outra questão que exige cuidado é a frequente apresentação de

metodologias em *frameworks* completos e terminologicamente distintos (Perigo–Exposição–Vulnerabilidade–Risco, ou variações como o H-V-R), que tratam vulnerabilidade como componente conceitualmente distinto de suscetibilidade e perigo, ainda que nem sempre operacionalizem a dimensão social com o mesmo rigor estatístico da dimensão física. Segundo Lima e Amorim (2023), este equívoco é um impasse que atrapalha a compreensão e percepção dos riscos, fazendo-se presente em diferentes áreas de pesquisa. Portanto, é necessário fomentar a discussão sobre o uso destas terminologias, de modo que se entenda a vulnerabilidade a partir da compreensão do que é "ser vulnerável", na perspectiva das fragilidades e do nível de exposição da população frente a determinadas situações.

4 CONCLUSÕES

As publicações que compuseram esta revisão sistemática demonstram o estado da arte da produção científica sobre mapeamento de vulnerabilidade a deslizamentos de terra (*landslides*, em inglês), identificando as tendências de abordagens semi-quantitativas e de análises de decisão multicritério, os diferentes aspectos de vulnerabilidade avaliados e operacionalizados, os indicadores mais utilizados, bem como as principais lacunas e dificuldades no tema.

É possível verificar que a acessibilidade e produção de dados é uma característica norteadora destes mapeamentos, influenciando desde a escolha do método até suas componentes de avaliação, que precisam ser tratadas de maneira conjunta e coerente para atingir um mapeamento de vulnerabilidade coeso. Para além disso, é necessário que pesquisas futuras priorizem a representação destes dados em maiores escalas para efetivamente considerar as complexidades regionais. Por fim, pontua-se a necessidade de discussão acerca da concordância conceitual de vulnerabilidade entre os profissionais e estudiosos do tema.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

AHMAD, N. *et al*. Integrated landslide risk assessment utilizing open source satellite and ground data in the Himalayas of Northern Pakistan. **Natural Hazards**, v. 121, n. 13, p. 15751–15787, jul. 2025. Disponível em: doi.org/10.1007/s11069-025-07443-5. Acesso em: 27 jul. 2026.

BERA, S.; GURU, B.; OOMMEN, T. Indicator-based approach for assigning physical vulnerability of the houses to landslide hazard in the Himalayan region of India. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 50, p. 101891, nov. 2020. Disponível em: doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101891. Acesso em: 31 mai. 2026.

GACU, J. *et al.* Integrated multi-hazard risk assessment under compound disasters using analytical hierarchy process (AHP). **Heliyon**, v. 11, n. 11, p. e43173, jun. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e43173. Acesso em 31 mai. 2026

GAO, B. *et al*. Landslide Risk Evaluation in Shenzhen Based on Stacking Ensemble Learning and InSAR. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 16, p. 1–18, 2023. Disponível em: doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e43173. Acesso em: 31 mai. 2026.

KHOSRAVI, K. *et al*. A comparative assessment of flood susceptibility modeling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 311–323, jun. 2019. Disponível em: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073. Acesso em: 28 jul. 2026.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. Disponível em: https://doi.org/10.2307/2529310. Acesso em 28 jul. 2026

LIMA, G. DA S.; AMORIM, R. R. **Suscetibilidade e Vulnerabilidade: Um Impasse Conceitual Que Dificulta a Responsabilização Pelo Desastre**. In: Anais do Evento em Comemoração aos 20 Anos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (IG-UNICAMP). **Anais**...2023. Disponível em: https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg/article/view/3886. Acesso em: 27 jul.. 2026

MOGHIMI, A. *et al*. Hybridizing genetic random forest and self-attention based CNN-LSTM algorithms for landslide susceptibility mapping in Darjiling and Kurseong, India. **Quaternary Science Advances**, v. 14, p. 100187, jun. 2024. Disponível em: doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100187. Acesso em 31 mai. 2026.

PIRASTEH, S. et al. Enhancing vulnerability assessment through spatially explicit modeling of mountain social-ecological systems exposed to multiple environmental hazards. **Science of The Total Environment**, v. 930, p. 172744, jun. 2024. Disponível em: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172744. Acesso em 28 jul. 2026.

PSOMIADIS, E. et al. Earth Observation and GIS-Based Analysis for Landslide Susceptibility and Risk Assessment. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 9, p. 552–552, 15 set. 2020. Disponível em: doi.org/10.3390/ijgi9090552. Acesso em 28 jul. 2026.

SARDOOI, E. R. et al. A hybrid model using data mining and multi-criteria decision-making methods for landslide risk mapping at Golestan Province, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 15, 21 jul. 2021. Disponível em: doi.org/10.1007/s12665-021-09788-z. Acesso em 28 jul. 2026.

RAHMAN, G. et al. Assessment of landslide susceptibility, exposure, vulnerability, and risk in shahpur valley, eastern hindu kush. **Frontiers in Earth Science**, v. 10, 16 ago. 2022. Disponível em: doi.org/10.3389/feart.2022.953627. Acesso em 28 jul. 2026.

RAM, P.; GUPTA, V. Landslide hazard, vulnerability, and risk assessment (HVRA), Mussoorie township, lesser himalaya, India. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, 2 maio 2021. Disponível em: doi.org/10.1007/s10668-021-01449-2. Acesso em 28 jul. 2026.

RAMLI, W. M. A.; ALIAS, N. E. Multidimensional Vulnerability Mapping Using GIS and Catastrophe Theory. International Journal of Geoinformatics, v. 20, n. 8, 29 ago. 2024.

Disponível em: doi.org/10.52939/ijg.v20i8.3443. Acesso em 29 jul. 2027.

SAHA, S. et al. Measuring landslide vulnerability status of Chukha, Bhutan using deep learning algorithms. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 16374–16374, 12 ago. 2021. Disponível em: doi.org/10.1007/s12665-021-09788-z. Acesso em 28 jul. 2026.

SOLARI, L. et al. Satellite interferometric data for landslide intensity evaluation in mountainous regions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 87, p. 102028–102028, 13 dez. 2019. Disponível em: doi.org/10.1016/j.jag.2019.102028. Acesso em 28 jul. 2026.

WANG, Y. et al. Quantitative Assessment of Landslide Risk Based on Susceptibility Mapping Using Random Forest and GeoDetector. **Remote Sensing**, v. 13, n. 13, p. 2625, 4 jul. 2021. Disponível em: doi.org/10.3390/rs13132625. Acesso em 28 jul. 2026.

WEN, H. et al. A hybrid machine learning model for landslide-oriented risk assessment of long-distance pipelines. **Journal of Environmental Management**, v. 342, p. 118177–118177, 20 mai. 2023. Disponível em: doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118177. Acesso em 28 jul. 2026.

WOLLOCH, N. Adam Smith and the concept of natural capital. **Ecosystem Services**, v. 43, p. 101097–101097, 31 mar. 2020. Disponível em: doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101097. Acesso em 28 jul. 2026.

ZOU, T.; YOSHINO, K. Environmental vulnerability evaluation using a spatial principal components approach in the Daxing'anling region, China. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 405–415, 30 mar. 2017. Disponível em: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.039. Acesso em 28 jul. 2026.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNISDR). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Geneva: UNISDR, 2015. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em: 28 de jul. 2026

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. "Vulnerability". [*S. l.: s. n.*], 2017. Disponível em: https://www.undrr.org/terminology/vulnerability. Acesso: em 27 jul. 2026.