

Artigo de Revisão

Revisão sistemática da literatura sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil

Systematic literature review of debris flows in Southern Brazil

Laura Lahiguera Cesa ¹, Alex Becker Bobsin ², Maurício Andrades Paixão ³, Itzayana González Ávila ⁴, Fernando Mainardi Fan ⁵

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre, Brasil.

l.lauracesa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1727-4993>

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre, Brasil.

alexbecker071107@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8193-3552>

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre, Brasil.

mauricio.paixao@ufrgs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2936-7047>

⁴ Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Reconstrução Gaúcha (SERG), Porto Alegre, Brasil. i.goavil@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1684-8885>

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre, Brasil.

fernando.fan@ufrgs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0371-7851>

Recebido: 07/05/2026; Aceito: 12/08/2026; Publicado: 10/09/2026

Resumo: Fluxo de detritos é um tipo de movimento de massa com alto poder destrutivo. A área de estudo está localizada no Sul do Brasil, onde fluxos de detritos ocorrem principalmente em regiões montanhosas e encostas íngremes. O objetivo foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre fluxos de detritos focada nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, utilizando o método PRISMA. Uma equação de busca foi desenvolvida e aplicada nas bases Scopus, Lens e Web of Science. Ao total, 372 artigos, publicados até o final de 2025, foram identificados, dos quais 28 foram selecionados por abordarem adequadamente o tema da pesquisa. Embora o número de publicações tenha aumentado após 2018, o maior número não ultrapassou cinco publicações, em 2022. Os principais achados dessas 28 publicações foram sintetizados. Observou-se que a maioria dos estudos apresentou análises quali-quantitativas e focou em estudos de escala local e regional. Entre os estados do Sul do Brasil, o Paraná foi o mais estudado, especialmente na região da Serra do Mar. Por fim, foram identificadas lacunas de conhecimento devido ao número limitado de publicações, apesar da frequência de fluxos de detritos e de seus impactos socioeconômicos no Sul do Brasil.

Palavras-chave: Desastres; Movimento de massa; Método PRISMA; Avaliação de perigo.

Abstract: Debris flow is a type of mass movement with high destructive potential. This study is located on Southern Brazil, where debris flows occur mainly in mountainous regions and on steep slopes. The objective was to conduct a systematic literature review of debris flow focusing on Rio Grande do Sul, Santa Catarina, and Paraná states, using the PRISMA method. A search equation was developed and applied in Scopus, Lens, and Web of Science. A total of 372 articles, published up to the end of 2025, were identified, of which 28 met the inclusion criteria. Although the number of publications increased after 2018, no more than five articles were published in any single year, with the highest annual number occurring in 2022. The main findings of these 28 publications were summarized. It was noted that most studies had mixed (qualitative-quantitative) analysis and focused on local and regional studies. Among the states of Southern Brazil, Paraná was the most studied,

particularly in the Serra do Mar region. Finally, knowledge gaps were identified due to the limited number of publications on the topic, despite the frequency of debris flows events and their socioeconomic impacts in Southern Brazil.

Keywords: Disasters; Mass movement; PRISMA method; Hazard assessment.

1. Introdução

1.1. Definição de fluxos de detritos

Fluxos de detritos (*debris flow*, em inglês) são compostos pela mistura de sedimento e água que se deslocam como um fluido contínuo impulsionado pela gravidade, adquirindo elevada mobilidade devido aos espaços vazios ampliados e saturados com água ou lama (Takahashi, 2014). A força total de impacto de um fluxo de detritos consiste principalmente na pressão dinâmica da matriz do fluxo e na força de colisão de grandes blocos rochosos (Song *et al.*, 2019). A alta mobilidade dos fluxos de detritos é evidenciada por seus menores coeficientes de atrito equivalentes em comparação com outros tipos de movimentos de massa (Takahashi, 2014). Consequentemente, os fluxos de detritos podem atingir velocidades de até 20 m/s (Iverson, 1997).

Geomorfologicamente, segundo Hussin (2011), um fluxo de detritos é caracterizado por três zonas: iniciação, transporte e deposição. A zona de iniciação é onde ocorre a ruptura da encosta. O fluxo pode ser iniciado por um escorregamento, uma avalanche de detritos ou uma queda de blocos (Hungri; Leroueil; Picarelli, 2014). A zona de transporte é uma zona transicional, muitas vezes associadas a canais em zonas declivosas, em que os sedimentos são incorporados ao fluxo. Na zona de deposição, os sedimentos são depositados, apresentando formato de diques ou de cones. Alvarado (2006) descreve as características sedimentológicas dos fluxos de detritos, cuja fase sólida varia desde partículas do tamanho de silte até grandes blocos rochosos. Quando silte e argila são misturados com água, forma-se um fluxo viscoplástico que, com a incorporação de fragmentos rochosos, origina os fluxos de detritos.

A realidade brasileira é caracterizada por fluxos de detritos lenhosos (Kobiyama *et al.*, 2015), devido a elevada densidade de vegetação em regiões de clima subtropical. No Brasil, esses eventos são observados predominantemente em regiões montanhosas (Paixão *et al.*, 2023) e frequentemente ocorrem de forma simultânea às inundações (Hungri; Leroueil; Picarelli, 2014), visto que a precipitação reduz a coesão dos materiais das encostas ao eliminar a pressão capilar e aumentar o peso específico do solo, desencadeando o movimento de massa (Maciel Filho; Nummer, 2011).

O conceito de fluxo de detritos evoluiu ao longo do tempo, com diversos autores propondo diferentes critérios de classificação (Hungri; Leroueil; Picarelli, 2014; IRDR, 2014; Imaizumi; Sidle; Kamei, 2008; Vandine; Bovis, 2002; Jan; Shen, 1996; Costa, 1988; Varnes, 1978). No Brasil, a classificação dos fluxos de detritos permanece desafiadora devido à forte influência hidrológica sobre os movimentos de massa úmidos (Franck, 2024). Em razão de sua natureza transicional, ainda não existe um único conceito universal estabelecido que difere os tipos de fluxos.

1.2. Efeitos do fluxo de detritos

Os fluxos de detritos estão entre os fenômenos naturais mais catastróficos devido à sua rápida propagação, longas distâncias de alcance e elevada energia (Yi *et al.*, 2026; Thouret *et al.*, 2020; Hungri; Leroueil; Picarelli, 2014; Takahashi, 2007; Iverson, 1997; Okuda *et al.*, 1980). Seu potencial destrutivo é ainda ampliado pelo transporte de grandes volumes de material, particularmente de grandes blocos rochosos capazes de gerar elevadas forças de impacto (Wang *et al.*, 2023; Shen *et al.*, 2018). Conforme demonstrado por Thouret *et al.* (2020), os impactos desses eventos ultrapassam os danos físicos imediatos e da perda de vidas, gerando consequências econômicas e sociais substanciais de longo prazo, influenciadas pela imensa energia cinética dos fluxos de detritos (Dowling; Santi, 2014).

O Atlas Digital de Desastres no Brasil (SEDEC/MIDR) fornece uma visão geral dos impactos humanos e econômicos causados por desastres no país. De acordo com esse levantamento, entre 1991 e 2025, foram registradas 5.535 mortes relacionadas a desastres e mais de 144 milhões de pessoas foram diretamente afetadas. Os danos materiais ultrapassaram USD 155 bilhões, enquanto as perdas no setor público excederam USD 70 bilhões. Nas últimas décadas, o aumento da exposição de populações e infraestruturas em áreas suscetíveis tem ampliado a atenção aos fluxos de detritos nas pesquisas científicas, na prática da engenharia e nos esforços governamentais de gestão de riscos (Trujillo-Vela *et al.*, 2022; Saito *et al.*, 2019).

Um exemplo recente ocorreu no estado do Rio Grande do Sul. Entre abril e maio de 2024, uma sequência de vários dias de chuvas intensas e volumosas saturou o solo, que é relativamente raso e possui capacidade limitada de absorver grandes volumes de água (Paiva *et al.*, 2024). Na região da encosta da serra, o volume de chuvas foi tão grande que resultou no maior evento de movimentos de massa já documentado no país (Andrades-Filho *et al.*, 2025; Andrades-Filho *et al.*, 2024; CEMADEN, 2024) com mais de 16.000 cicatrizes mapeadas em todo o estado, das quais mais de 3.000 foram classificadas como fluxos de detritos (Andrades-Filho *et al.*, 2025). O número de mortes chegou a 185, e 23 pessoas permanecem desaparecidas (Brito, 2026). As perdas econômicas foram estimadas em aproximadamente USD 17 bilhões (BID, 2024).

1.3. Lacuna de pesquisa e objetivos

Apesar da recorrência de eventos de fluxos de detritos no Sul do Brasil, a literatura científica permanece fragmentada e dispersa entre diferentes áreas do conhecimento, incluindo geologia, geomorfologia, hidrologia e gestão de riscos de desastres. Consequentemente, ainda não existe uma síntese abrangente do conhecimento existente (Paixão *et al.*, 2023; Trujillo-Vela *et al.*, 2022; Paixão; Kobiyama, 2019; Kobiyama *et al.*, 2015), sendo necessária para identificar tendências de pesquisa, abordagens metodológicas, distribuição geográfica dos estudos e lacunas de conhecimento.

Nesse contexto, as revisões sistemáticas fornecem uma abordagem estruturada para avaliar o conhecimento científico existente. Para abordar essas lacunas, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre pesquisas relacionadas aos fluxos de detritos no Sul do Brasil utilizando a metodologia PRISMA. A revisão foi estruturada para responder às seguintes questões de pesquisa:

- Qual é o estado atual do conhecimento sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil?
- Quais são as principais lacunas de pesquisa que limitam a avaliação de perigo e a gestão de riscos associados aos fluxos de detritos no Sul do Brasil?

2. Área de Estudo

De acordo com a análise histórica conduzida por Kobiyama *et al.* (2015), as regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentam a maior concentração de eventos de fluxos de detritos documentados no país. Para exemplificar, entre 1900 e 2014, apenas o estado de Santa Catarina registrou mais de 200 mortes associadas a desastres envolvendo fluxos de detritos.

Os estados da região Sul do Brasil — Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná — estão predominantemente inseridos na Bacia Sedimentar do Paraná, uma importante unidade geológica composta por extensas sequências de rochas sedimentares e vulcânicas. Esse contexto geológico, combinado com a topografia acentuada, favorece à ocorrência de fluxos de detritos.

As condições hidrológicas estão entre os principais fatores que controlam a ocorrência de fluxos de detritos (Paixão *et al.*, 2023; Sidle; Lopes, 2017; Ochiai, 2006; Selby, 1993). Além disso, a variabilidade climática atual, influenciada pelas mudanças climáticas, altera significativamente o ciclo hidrológico. Isso aumenta a incerteza em relação à disponibilidade hídrica e contribui para uma maior frequência de eventos climáticos extremos. No Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) realizou avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos (ANA, 2024). Os resultados indicam aumento da precipitação e das vazões dos cursos d'água, particularmente no Sul do Brasil, sem aumentos significativos na evapotranspiração. Em síntese, a Região Sul apresenta predominância de cenários de aumento da disponibilidade hídrica, associados a uma maior frequência de cheias e inundações. Em contrapartida, as projeções para o restante do país indicam redução da disponibilidade hídrica e aumento acentuado da evapotranspiração.

Considerando a forte influência das condições geológicas e hidrológicas na ocorrência de fluxos de detritos, combinada à projeção de intensificação dos extremos hidrológicos sob as mudanças climáticas, a Região Sul do Brasil foi selecionada como área de estudo para esta revisão sistemática (Figura 1).

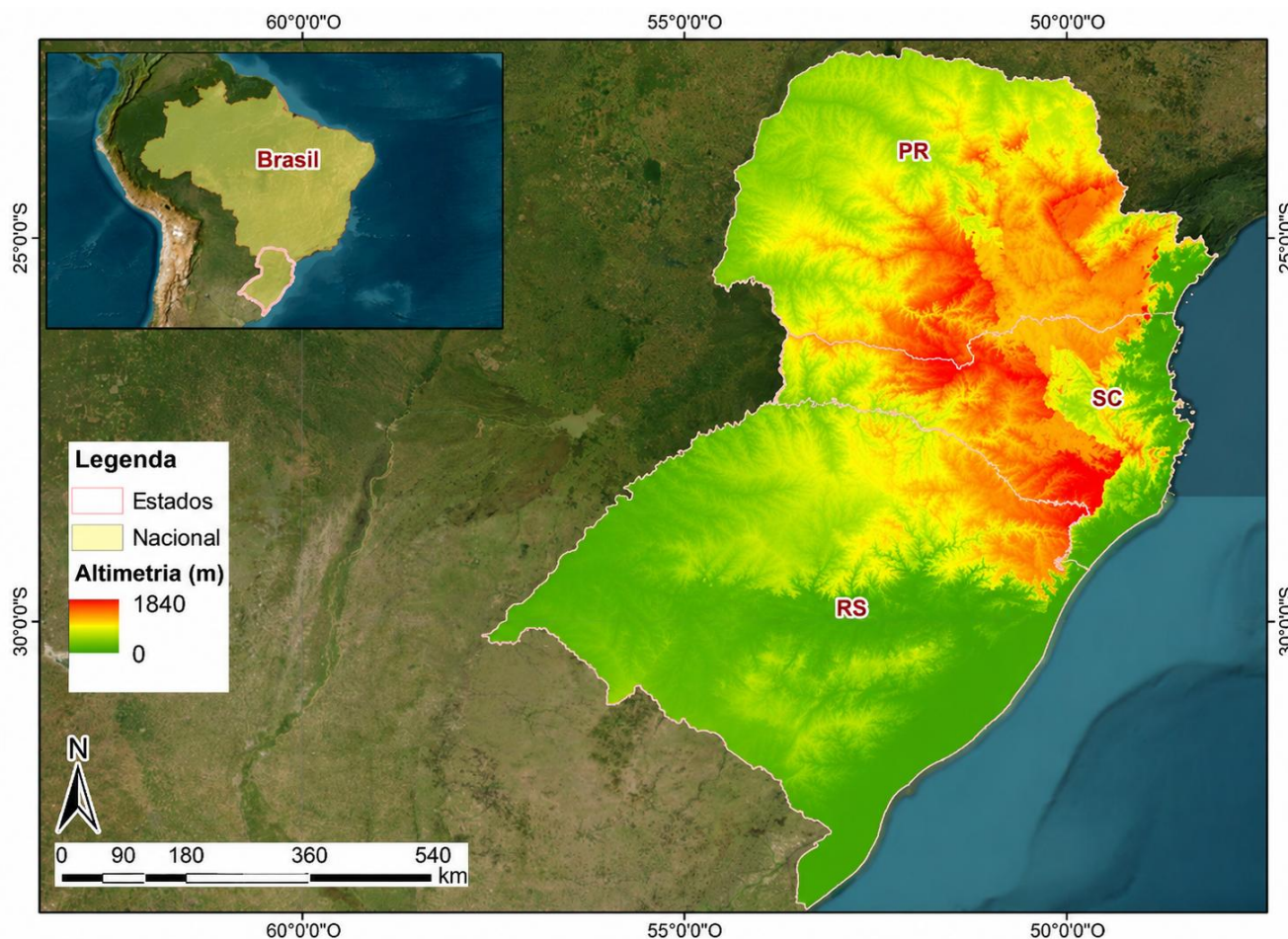


Figura 1. Área de estudo da presente revisão sistemática.

3. Materiais e Métodos

Segundo Galvão e Pereira (2014), as revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários baseados em estudos primários, como artigos científicos. Nesta pesquisa, o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foi aplicado para aprimorar a revisão sistemática da literatura (PRISMA, 2020). O processo de busca e seleção dos artigos seguiu as seguintes etapas:

1. Seleção das bases de dados para busca dos artigos;
2. Definição da equação de busca;
3. Triagem dos artigos e exclusão daqueles que não atenderam ao objetivo da pesquisa;
4. Compilação dos artigos selecionados para análise.

Foram empregadas três bases de dados: Scopus, Lens e Web of Science. Utilizando as funcionalidades de busca avançada disponíveis em cada plataforma, os termos foram aplicados no título, resumo e palavras-chave dos artigos.

Considerando a ausência de padronização na definição desse fenômeno, o termo *debris flow* pode aparecer sob diferentes formas, mantendo o mesmo significado. Por esse motivo, foram utilizados sinônimos e termos relacionados a fim de selecionar o maior número possível de publicações. Os termos adotados foram: *debris-flow*, *debris flow*, *debris flows*, *mass flow*, *mass flows*, *rapid mass movement*, *rapid mass movements*, *colluvial flow*, *colluvial flows*, *mudflow*, *mudflows*, *shallow landslide*, *shallow-landslide* e *shallow landslides*. Para garantir que o foco principal da publicação fosse o fluxo de detritos, esses termos deveriam aparecer no título.

Com foco no Sul do Brasil, esta pesquisa incluiu na equação de busca os seguintes termos geográficos no título, resumo e palavras-chave: *Brazil*, *BR*, *Rio Grande do Sul*, *RS*, *Santa Catarina*, *SC*, *Paraná*, *PR* e *Southern Brazil*. Após uma triagem inicial, termos geográficos relacionados a outros estados ou regiões brasileiras foram excluídos, pois estavam fora do escopo deste estudo, como *São Paulo*, *SP*, *Rio de Janeiro*, *RJ*, *SE*, *Northeastern Brazil*, *Northeast Brazil*, *Southeast Brazil* e *Southeastern Brazil*.

Os operadores booleanos foram utilizados da seguinte forma: *AND* para combinar e restringir termos, *OR* para ampliar a busca incluindo sinônimos, e *NOT* para excluir locais que não pertenciam à área de estudo. As aspas foram utilizadas para assegurar a busca por termos compostos, e os parênteses foram aplicados para organizar as combinações dos operadores. As equações finais de busca aplicadas em cada base de dados foram apresentadas no Material Suplementar.

É importante destacar que livros não foram incluídos nesta revisão. Como o presente trabalho é focado no Sul do Brasil, termos em português foram inicialmente aplicados utilizando a mesma estratégia de busca para as bases de dados indexadas. Entretanto, esses termos não retornaram estudos adicionais elegíveis além daqueles já identificados na busca em inglês, retornando apenas versões em português de artigos já disponíveis em inglês. Embora possam existir estudos relevantes escritos em português, particularmente em anais de eventos, publicações institucionais, dissertações ou periódicos não indexados pelas bases de dados selecionadas, essas fontes estão fora do escopo da estratégia de busca empregada. A restrição da busca às bases de dados indexadas garantiu consistência metodológica, reprodutibilidade e transparência, mas pode ter resultado na exclusão de outros trabalhos relevantes. Essa limitação deve, portanto, ser considerada na interpretação dos resultados desta revisão. Assim, apenas artigos publicados em inglês foram analisados. Estudos sem áreas de estudo localizadas no Sul do Brasil foram removidos. Artigos duplicados também foram excluídos.

A equação de busca possibilitou a identificação de publicações potencialmente relevantes. A partir da triagem dos resumos, apenas os artigos alinhados ao objetivo deste estudo foram selecionados. Nem todos os artigos selecionados possuíam versões completas disponíveis gratuitamente; portanto, as informações dos resumos foram priorizadas. Entretanto, sempre que possível, os artigos completos também foram analisados. Após a etapa de seleção, as principais informações extraídas dos manuscritos foram submetidas a análise.

O fluxograma metodológico é apresentado na Figura 2. Para os estudos selecionados, foram analisadas as seguintes informações:

1. Título;
2. Autoria;
3. Ano de publicação;
4. Abordagem da pesquisa;
5. Destaque científico, com base no objetivo geral, metodologia aplicada e principais conclusões;
6. Área de estudo no Sul do Brasil;
7. Escala espacial, classificada como local (uma única bacia hidrográfica, área específica de estudo ou município), regional (mais de uma bacia hidrográfica, mais de um município ou uma unidade geomorfológica), nacional (mais de um estado) ou internacional (Brasil e pelo menos um outro país).
8. Tipo de análise, classificada como qualitativa, quantitativa ou mista (qualitativa-quantitativa);
9. Lacunas de conhecimento identificadas.

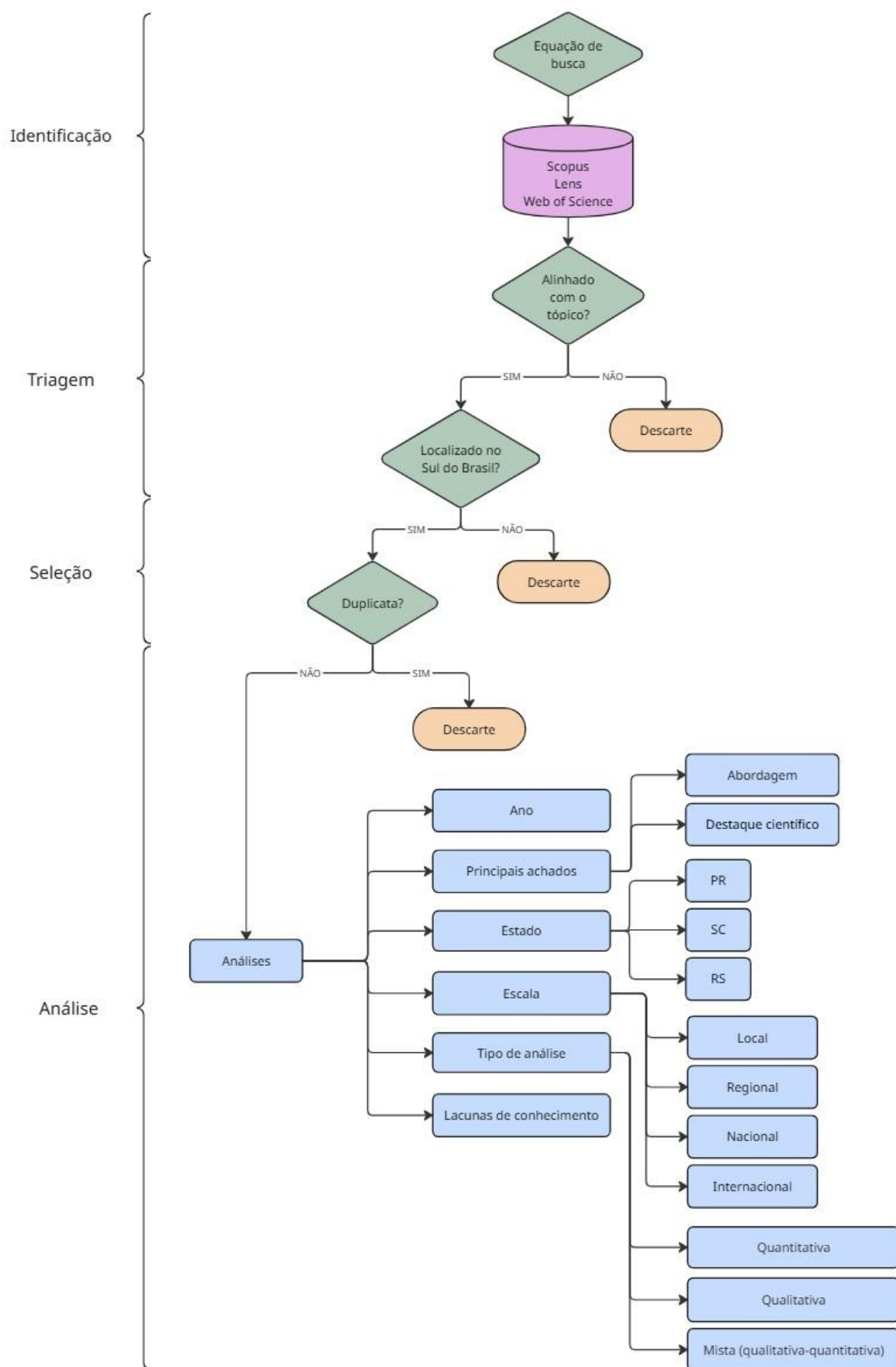


Figura 2. Fluxograma metodológico.

4. Resultados

O Scopus identificou 95 artigos, dos quais 15 atenderam aos critérios de elegibilidade e foram selecionados para a análise. A busca no Lens retornou 206 artigos, dos quais 27 foram incluídos. Por fim, o Web of Science identificou 71 artigos, dos quais 11 foram selecionados. O resultado foi um total de 53 artigos e 25 duplicatas. Após a remoção das duplicatas, 28 artigos foram incluídos nesta revisão sistemática da literatura sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil. Conforme apresentado na Figura 3, Scopus e Lens retornaram, cada uma, publicações únicas que não foram identificadas por outras bases de dados, enquanto o Web of Science retornou apenas artigos que também foram encontrados no Scopus ou Lens.

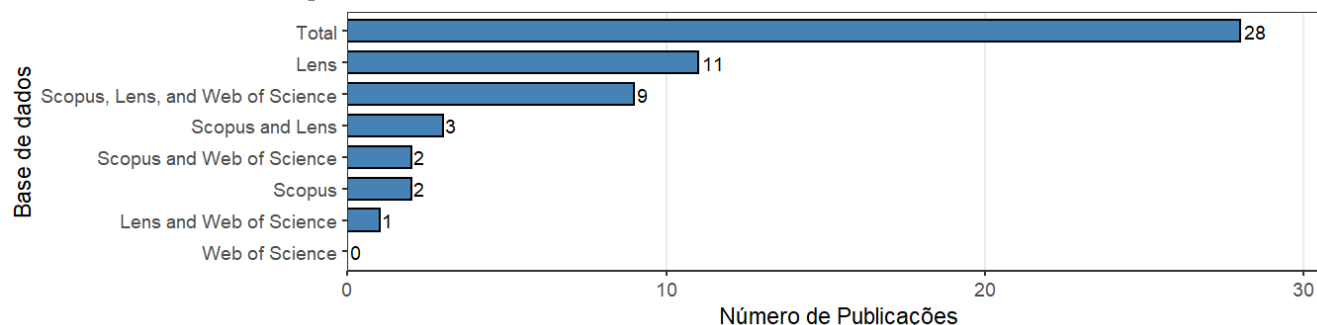


Figura 3. Número de publicações por base de dados.

A distribuição temporal das publicações (Figura 4) mostra que o primeiro artigo foi publicado em 2002, seguido por uma baixa taxa de publicação, com no máximo um artigo por ano até 2015. A partir de 2016, o número de publicações aumentou, com três estudos nesse ano. Uma tendência clara e contínua de crescimento a partir de 2018 pode refletir o aumento do interesse pelo tema. O pico ocorreu em 2022, com cinco publicações, representando o ano com o maior número de artigos até dezembro de 2025. Posteriormente, o número de publicações diminuiu, com ausência de artigos publicados em 2024. No entanto, um estudo foi publicado em 2025, podendo sinalizar continuidade do interesse em pesquisas sobre fluxos de detritos.

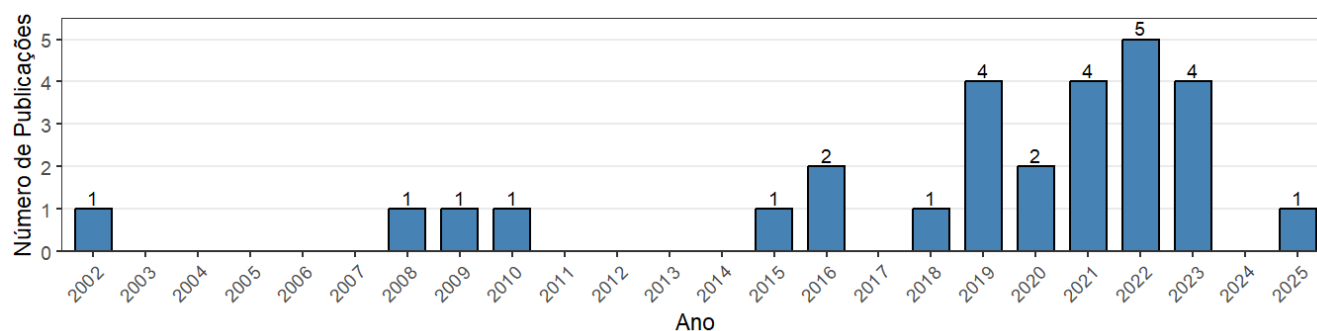


Figura 4. Número de publicações por ano.

Os estudos abordaram os fluxos de detritos sob diferentes perspectivas. Para responder à primeira questão de pesquisa, os 28 artigos selecionados foram analisados, e seus destaques científicos são apresentados na Tabela 1, fornecendo uma visão geral do estado atual do conhecimento sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil.

Tabela 1. Resumo dos principais achados dos artigos selecionados.

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
1	<i>Modeling the geomorphologic susceptibility to debris flow initiation with geomorphometric parameters and fuzzy logic in the mountainous region of Serra do Mar (state of Paraná, Brazil)</i>	Silveira e Silveira (2025)	Serra da Prata, Serra do Mar (PR)	Modelagem computacional	Desenvolveu um modelo para mapear áreas suscetíveis à iniciação de fluxos de detritos em regiões montanhosas tropicais úmidas baseado no evento de março de 2011 na Serra do Mar.	Quantitativa
2	<i>The consequences of debris flows in Brazil: a historical analysis based on recorded events in the last 100 years</i>	Cabral <i>et al.</i> (2023)	Brasil, incluindo RS, SC e PR	Quantificação de parâmetro	Quantificou as consequências socioeconômicas dos fluxos de detritos ocorridos no país entre 1920 e 2021, evidenciando a maior probabilidade de eventos fatais no Brasil em comparação com China, Japão e Itália.	Qualitativa
3	<i>The effects of debris flow on structural sediment connectivity: case studies in the Italian Alps and in Southern Brazil</i>	Paul <i>et al.</i> (2023a)	Bacia Revolver (SC) e Bacia Stolla (Itália)	Modelagem computacional	Modelou fluxos de detritos em duas bacias (Revolver, BR e Stolla, IT), evidenciando que as mudanças topográficas influenciam a conectividade sedimentar e o comportamento dos fluxos.	Mista
4	<i>Debris flow susceptibility from Landscape Descriptors</i>	Salvador e Michel (2023)	Arroio Jaguar, Alto Feliz (RS)	Mapeamento de suscetibilidade	Propôs uma avaliação de suscetibilidade a fluxos de detritos utilizando descritores da paisagem obtidos a partir da plataforma TauDEM. Aplicado à bacia hidrográfica do arroio Jaguar, o	Mista

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
5	<i>Comparison of different rheological approaches and flow direction algorithms in a physically based debris flow model for data scarce regions</i>	Paul <i>et al.</i> (2023b)	Bacia do rio Mascarada (RS)	Modelagem computacional	modelo alcançou uma taxa de verdadeiros positivos de 94%. Propôs um modelo de simulação de fluxos de detritos para regiões com escassez de dados e comparou diferentes algoritmos de direção de fluxo e abordagens reológicas. Os resultados na bacia hidrográfica do rio Mascarada demonstram que os algoritmos de direção de fluxo apresentam maior influência sobre a área afetada prevista do que as formulações reológicas.	Quantitativa
6	<i>Susceptibility to the Development of Debris Flows in the Territory of the Caminhos dos Cânions do Sul Geopark in Southern Brazil</i>	Sugiyama e Gomes (2022)	Geoparque, Caminhos dos Cânions do Sul (RS e SC)	Mapeamento de suscetibilidade	Identificou alta ou muito alta suscetibilidade ao desenvolvimento de fluxos de detritos em 12, das 25 bacias analisadas no Geoparque, localizadas especialmente onde há geossítios.	Quantitativa
7	<i>Geomorphic analyses of two recent debris flows in Brazil</i>	Dias, McDougall e Vieira (2022)	Bacia do Tingidor (PR) e Bacia do Guarda-Mão (SP)	Análise de fatores deflagradores	Investigou e comparou os fatores deflagradores e as características geomórficas de dois eventos de fluxos de detritos (Tingidor, 2011 e Guarda-Mão, 2014), evidenciando o impacto do <i>entrainment</i> (incorporação de material ao longo do fluxo).	Mista

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
8	<i>Differences in the occurrence of debris flows in tropical and temperate environments: field observations and geomorphologic characteristics in Serra do Mar (Brazil) and British Columbia (Canada)</i>	Dias <i>et al.</i> (2022)	Bacia do Tingidor (PR), Bacia do Guarda-Mão (SP) e Lillooet (Canadá), Mount Currie (Canadá)	Análise e comparação de eventos	Comparou as características geomorfológicas e as assinaturas morfométricas dos fluxos de detritos em dois locais (Serra do Mar, BR e <i>British Columbia</i> , CA), mostrando-se semelhantes apesar das diferenças climáticas e ambientais.	Mista
9	<i>Regional Scale Mapping of Debris-Flow Susceptibility in the Caminhos dos Cânions do Sul GeoPark, Southern Brazil</i>	Sugiyama <i>et al.</i> (2022)	Geoparque, Caminhos dos Cânions do Sul (SC)	Mapeamento de suscetibilidade	Comparou duas metodologias de mapeamento regional a suscetibilidade a fluxos de detritos. Em comparação com inventários de fluxo, ambas as metodologias precisam ser recalibradas para o contexto específico do escarpamento da Serra Geral.	Quantitativa
10	<i>Alluvial plain morphostratigraphy affected by recent mud and debris flows: a study in the Jacarei River basin (southern coast of Brazil)</i>	Paz e Paula (2022)	Bacia do rio Jacareí, Litoral Central (PR)	Análise morfoestratigráfica	Analizou as unidades morfoestratigráficas em uma planície aluvial afetada por corridas de lama e detritos, identificando unidades formadas em três contextos: anteriormente a 2011; pelas próprias corridas de 2011; e após 2011.	Mista
11	<i>Characterization of a landslide-triggered debris flow at a rainforest-covered mountain region in Brazil</i>	Cabral <i>et al.</i> (2021)	Bacia da Pedra Branca, Guaratuba (PR)	Análise de fatores deflagradores	Analizou os fatores meteorológicos e geomorfológicos que causaram um fluxo de detritos na bacia da Pedra Branca,	Quantitativa

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
12	<i>Post-glacial Permian debris flow deposits and their paleoclimatic implications (Mariana Pimentel paleovalley, southern Paraná Basin)</i>	Coitinho <i>et al.</i> (2021)	Vale Paleoglacial de Mariana Pimentel (PR)	Investigações do registro fóssil	quantificando sua magnitude, descarga e velocidade. Demonstrou que depósitos de diamictitos (rocha sedimentar) formados por fluxos de detritos no paleovale de Mariana Pimentel refletem o aumento da temperatura e umidade no período Permiano, evidenciando o impacto da transição pós-glacial no clima.	Mista
13	<i>Evaluations and proposals for the debris flow hazard mapping method of the GIDES Project</i>	Facuri e Picanço (2021)	Bacia do rio Jacareí (PR)	Mapeamento de suscetibilidade	Avaliou o método de mapeamento de perigo de fluxos de detritos do GIDES utilizando o evento de 2011 na bacia hidrográfica do rio Jacareí. Os resultados revelaram limitações no modelo original e demonstraram que adaptações baseadas em parâmetros morfométricos melhoram a precisão do mapeamento de perigo.	Mista

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
14	<i>Relationship between sediment connectivity and debris flow in a mountain catchment</i>	Abatti <i>et al.</i> (2021)	Bacia do Mascarada (RS)	Modelagem computacional	Demonstrou, por meio de simulações computacionais do evento de Mascarada de 2017, que a conectividade de sedimentos, avaliada utilizando o Índice de Conectividade (IC), é um indicador eficaz para identificar áreas suscetíveis à transferência de sedimentos por fluxos de detritos em bacias hidrográficas montanhosas.	Mista
15	<i>Standard Countermeasures Studies for Debris Flow Disasters in Brazil</i>	Costa <i>et al.</i> (2020)	Blumenau (SC) e Nova Friburgo (RJ)	Proposta de medidas de gestão	Desenvolveu um manual de medidas de contenção de fluxos de detritos no Brasil, baseado no modelo japonês, demonstrando viabilidade através da aplicação em dois projetos-piloto.	Qualitativa
16	<i>Magnitude estimation of a landslide-triggered debris flow in the Serra do Mar Mountain Range, Brazil</i>	Cabral <i>et al.</i> (2020)	Bacia do Pedra Branca (PR)	Quantificação de parâmetro	Estimou a magnitude do fluxo de detritos de fevereiro de 2017 na bacia da Pedra Branca, calculando o volume total de material mobilizado e de sedimentos acumulados leito, com potencial para remobilização em eventos futuros.	Quantitativa

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
17	<i>Debris flow in Serra do Mar/PR, Brazil, in 2017: Damages to right of way, recovery and protection actions</i>	Piedade <i>et al.</i> (2019)	Faixa de dutos OSPAR, BR-376, Serra do Mar (PR)	Análise e comparação de eventos	Descreveu o evento de fluxo de detritos de 2017 que afetou a faixa de dutos da Petrobras. As ações emergenciais foram eficazes para restabelecer a área e uma estrutura de proteção foi projetada para suportar futuros fluxos sem barrar ou dissipar sua energia.	Qualitativa
18	<i>Debris-flow hazard investigation with Kanako-2D in a rural basin, Alto Feliz municipality (Brazil)</i>	Kobiyama e Michel (2019)	Alto Feliz (RS)	Computational modelling	Modelou cenários de fluxo de detritos em uma pequena bacia rural, evidenciando o risco de impacto em uma residência e os padrões típicos de erosão no talvegue, com deposição associada a variações na declividade.	Quantitativa
19	<i>Proposal of Debris Flow Disasters Management in Brazil Based on Historical and Legal Aspects</i>	Kobiyama, Michel e Goerl (2019)	Brasil, incluindo RS, SC e PR	Proposal for management measures	Realizou uma pesquisa documental e propôs medidas para gestão de desastres por fluxo de detritos no Brasil com base em aspectos históricos e legais.	Qualitativa

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
20	<i>Geotechnical and Mineralogical Properties of Granite Regolith Related to Nucleation Mechanisms of Debris Flows in Tropical Areas</i>	Picanço, Mesquita e Melo (2019)	Bacia do córrego Gigante em Morretes, Serra do Mar (PR)	Geotechnical and mineralogical analysis	Investigou a iniciação de fluxos de detritos por meio da análise das características geológicas e geotécnicas de um perfil de regolito na Serra do Mar, destacando como a composição do regolito e os padrões de intemperismo influenciam a iniciação de deslizamentos e o potencial de geração de fluxos de detritos em bacias hidrográficas íngremes.	Mista
21	<i>Identification and analysis of areas susceptible to debris flow in the basin Taquari-Antas river, RS</i>	Oliveira et al. (2018)	Bacia do Taquari-Antas (RS)	Modelagem computacional	Modelou áreas suscetíveis a fluxos de detritos na bacia do Rio Taquari-Antas, identificando cerca de 30% da bacia como suscetível, localizadas em regiões de escarpas erosivas.	Quantitativa
22	<i>Debris flow hazard zonation in Serra da Prata range, Paraná State, Brazil: Watershed morphometric constraints</i>	Picanço et al. (2016)	Serra da Prata, Serra do Mar (PR)	Quantificação de parâmetro	Mapeou a suscetibilidade a fluxos de detritos em 11 bacias da Serra da Prata com base em parâmetros morfométricos, identificando que apenas três delas atenderam aos limiares típicos para ocorrência do processo.	Quantitativa
23	<i>Historical views and current perspective of debris flow disaster management in Brazil</i>	Kobiyama, Michel e Goerl (2016)	Brasil, incluindo RS, SC e PR	Evolução histórica do tema	Analisou a evolução histórica da gestão de desastres por fluxo de detritos no Brasil e identificou escassez de publicações em periódicos, propondo	Qualitativa

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
24	<i>Historical analyses of debris flow disaster occurrences and of their scientific investigation in Brazil</i>	Kobiyama <i>et al.</i> (2015)	Brasil, incluindo RS, SC e PR	Evolução histórica do tema	medidas para aprimorar o gerenciamento de riscos. Analisou historicamente as ocorrências de desastres por fluxo de detritos e o estado da investigação científica sobre o tema no Brasil, evidenciando o aumento de publicações a partir dos anos 1990, mas ainda com escassez de trabalhos em periódicos científicos.	Qualitativa
25	<i>Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: Meteorological and geomorphic aspects</i>	Kobiyama <i>et al.</i> (2010)	Rio dos Cedros (SC)	Análise e comparação de eventos	Analizou dois fluxos de detritos que ocorreram em novembro de 2008 em Rio dos Cedros, evidenciando que a principal causa foi a chuva acumulada e que a topografia e a vegetação também influenciaram o comportamento e as características deposicionais dos fluxos.	Mista
26	<i>Geomorphological Controls and Land-use Effects on Rainfall Triggered Debris Flows in Brazil</i>	Fernandes <i>et al.</i> (2009)	Morro do Baú (SC) e Rio de Janeiro (RJ)	Análise de fatores deflagradores	Analizou os controles geomorfológicos, geológicos e de uso e ocupação do solo sobre fluxos de detritos deflagrados por chuvas no Brasil, demonstrando que as interações entre encostas e canais, bem como as mudanças no uso do solo, podem influenciar significativamente a iniciação e a magnitude dos fluxos de detritos.	Mista

ID	Título	Autoria	Área de estudo	Abordagem	Destaque científico	Tipo de análise
27	<i>Predicting debris flow susceptible areas through GIS modelling in Aparados da Serra (Brazil)</i>	Strieder <i>et al.</i> (2008)	Aparados da Serra (RS)	Modelagem computacional	Apresentou resultados de modelagem com boa correlação com eventos reais, indicando áreas suscetíveis a fluxos de detritos desencadeados por tempestades convectivas concentradas na região dos Aparados da Serra.	Quantitativa
28	<i>The December 23rd 1995 floods and debris flows in Santa Catarina State (Subtropical Brazil)</i>	Pellerin <i>et al.</i> (2002)	Sub-bacias dos rios Figueira e Pinheirinho, Serra Geral (SC)	Análise e comparação de eventos	Reconstruiu os fluxos de detritos e inundações ocorridos em 23 de dezembro de 1995 em Santa Catarina utilizando mapeamento geomorfológico e observações de campo. Os resultados indicam que esses eventos são recorrentes ao longo da Serra do Mar e devem ser considerados na avaliação de perigo.	Mista

A Figura 5 resume a distribuição dos estudos selecionados de acordo com o tipo de análise. As abordagens mistas (qualitativa–quantitativa) foram predominantes, seguidas pelos estudos quantitativos, enquanto as análises exclusivamente qualitativas representaram o menor número.

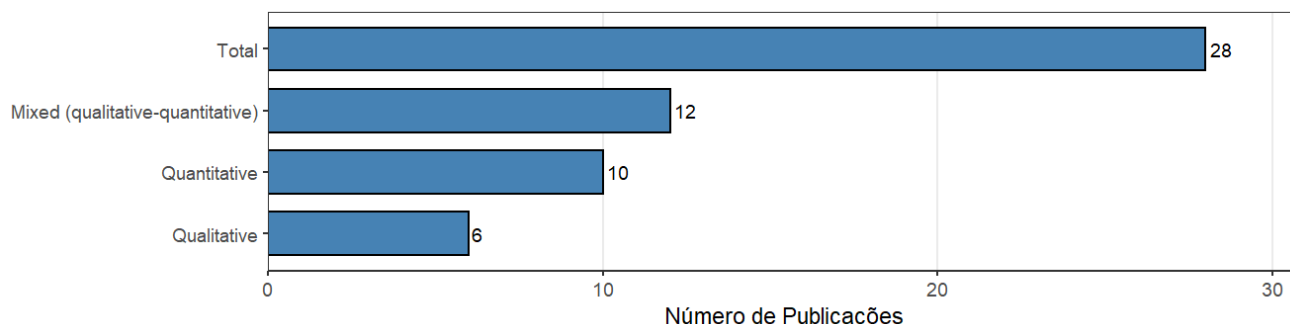


Figura 5. Número de publicações por tipo de análise.

Em relação à distribuição geográfica dos estudos selecionados, esta revisão considerou a área de estudo reportada em cada publicação. Para estudos que abrangeram mais de um estado ou todo o país, cada estado da Região Sul do Brasil incluído na análise foi contabilizado individualmente.

O Paraná apresentou o maior número de estudos, focado na região da Serra do Mar. O Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentaram números semelhantes de publicações. No Rio Grande do Sul, as pesquisas são predominantemente realizadas na Serra Gaúcha e em áreas de fronteira com Santa Catarina, enquanto os estudos em Santa Catarina estão concentrados nas regiões do Vale do Itajaí e da Serra Geral (Cânions). A Figura 6 ilustra a distribuição dos estudos selecionados por estado, enquanto a Figura 7 apresenta a os estudos de acordo com sua escala espacial.

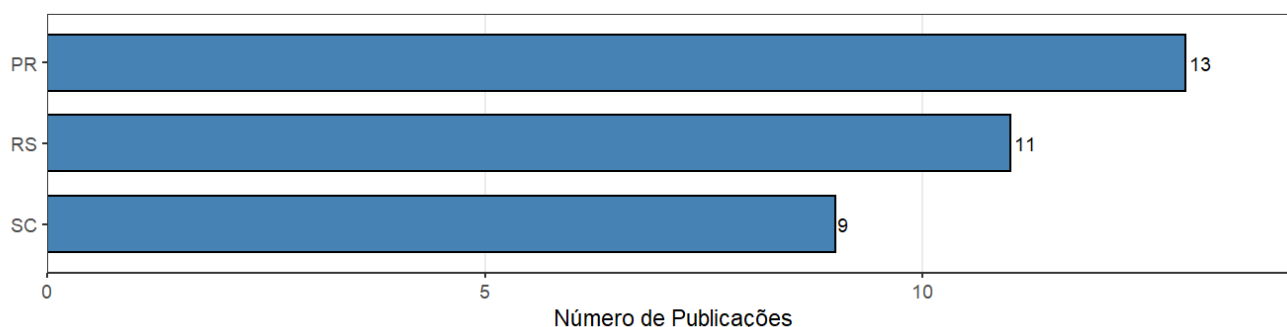


Figura 6. Número de publicações por estado.

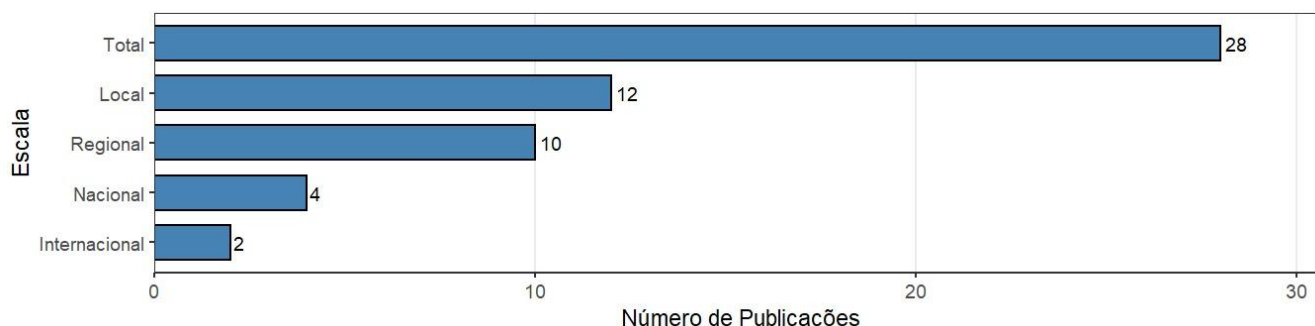


Figura 7. Número de publicações por escala espacial.

A Figura 8 mostra a distribuição geográfica das áreas de estudo analisadas nas publicações selecionadas. Embora esta revisão tenha como foco o Sul do Brasil, alguns estudos selecionados incluíram análises realizadas em escalas nacional ou internacional, conforme ilustrado no mapa ampliado à esquerda. Para melhorar a visualização

e minimizar a sobreposição de localizações dos estudos, mapas ampliados são apresentados no lado direito da figura.

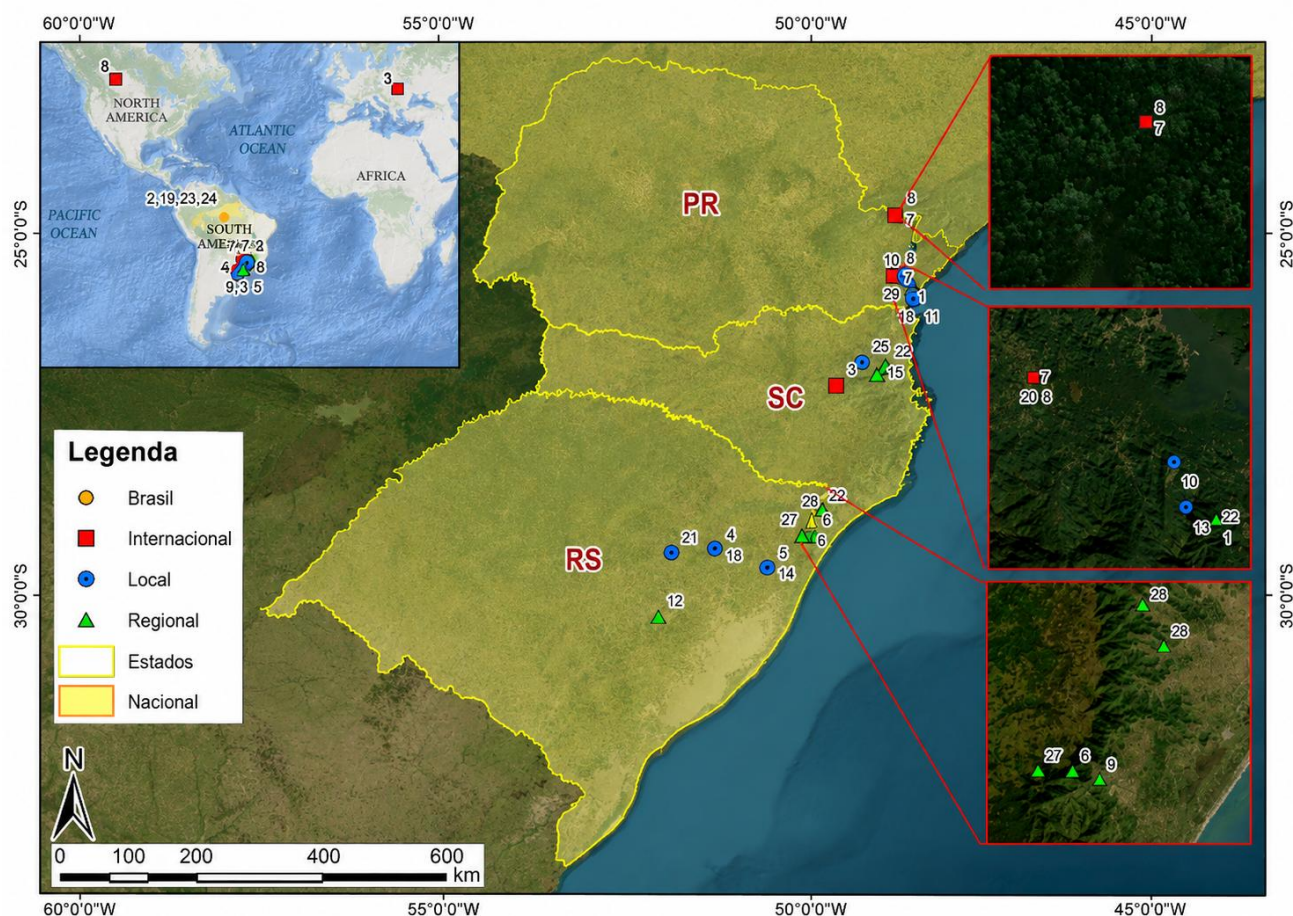


Figura 8. Distribuição geográfica das áreas de estudo (os IDs dos pontos são os mesmos apresentados na Tabela 1).

5. Discussão

De forma geral, as pesquisas sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil apresentaram crescimento gradual ao longo do período de 24 anos analisado. Entretanto, o número de estudos permanece modesto considerando a frequência e os impactos socioeconômicos dos desastres associados a fluxos de detritos no Brasil. O aumento das publicações após 2018 pode refletir a maior disponibilidade de dados topográficos de alta resolução e os avanços na modelagem computacional. Também pode estar associado à maior ênfase na redução de riscos de desastres após grandes eventos de fluxos de detritos no Brasil, incluindo o evento de 2011 no Paraná e os desastres de 2013 no Rio de Janeiro e em São Paulo, que causaram perdas humanas e econômicas significativas (Cabral *et al.*, 2023). Embora não seja possível estabelecer uma relação causal direta, esses eventos provavelmente contribuíram para o aumento do interesse científico sobre fluxos de detritos nos anos seguintes. Entretanto, os avanços permanecem limitados com baixa disponibilidade de dados de monitoramento em tempo real, o que destaca que a ciência dos fluxos de detritos ainda é um campo em desenvolvimento com oportunidades para futuras pesquisas.

A predominância de abordagens mistas (qualitativa–quantitativa) ressalta a importância de correlacionar resultados simulados com informações descritivas. Isso reflete a complexidade intrínseca dos processos de fluxos de detritos que requerem perspectivas quantitativas e qualitativas para serem adequadamente compreendidos. Essa abordagem integrada é particularmente relevante no contexto da gestão de riscos de desastres. Enquanto os resultados quantitativos fornecem uma base para a avaliação de perigo e a tomada de decisões técnicas, as informações qualitativas desempenham um papel fundamental na transformação do conhecimento científico em informações acessíveis para os gestores e as comunidades. Portanto, a integração de análises qualitativas e

quantitativas não apenas aumenta a robustez das investigações científicas, mas também facilita a comunicação e a aplicação prática dos resultados, aspectos essenciais para estratégias eficazes de redução de riscos.

Embora o número de estudos tenha sido relativamente semelhante entre os três estados, a concentração de pesquisas no Paraná provavelmente está associada à recorrência de eventos de fluxos de detritos na região da Serra do Mar, onde o relevo acidentado, chuvas intensas, regolito intemperizado e condições geológicas favoráveis criam um ambiente altamente suscetível à iniciação de fluxos de detritos, conforme relatado por Picanço, Mesquita e Melo (2019); Paz e Paula (2022).

A predominância de estudos em escala local reflete a natureza restrita dos processos de fluxos de detritos. Embora eles apresentem alto potencial destrutivo, seus impactos geralmente estão concentrados ao longo de trajetórias de fluxo bem definidas, enquanto áreas adjacentes podem permanecer praticamente inalteradas. Essa variabilidade espacial reforça a necessidade de investigações locais detalhadas para identificar as condições que controlam a iniciação dos fluxos de detritos e aprimorar a avaliação de perigo, uma vez que o desencadeamento desses processos resulta de interações complexas entre topografia, geologia, disponibilidade de sedimentos e precipitação.

Um dos resultados mais consistentes dos estudos revisados foi a limitada disponibilidade de dados de monitoramento para eventos de fluxos de detritos. Diversos estudos identificaram essa limitação como um dos principais obstáculos para melhorar a calibração dos modelos e compreender a dinâmica dos fluxos de detritos (Salvador; Michel, 2023; Kobiyama; Michel, 2019). Consequentemente, mapeamentos detalhados pós-evento são essenciais antes da modificação da área por remobilização dos sedimentos (Dias; McDougall; Vieira, 2022; Kobiyama; Michel; Goerl, 2019). Esses resultados reforçam a necessidade de ampliar as redes de monitoramento hidrometeorológico e topográfico, embora investigações de campo permaneçam desafiadoras em terrenos densamente vegetados (Picanço *et al.*, 2016).

Outro resultado recorrente da literatura revisada refere-se ao papel da conectividade de sedimentos na dinâmica dos fluxos de detritos. Apesar dos avanços recentes, as dificuldades em quantificar a conexão entre os fluxos de detritos e hidrografia permanecem um grande desafio, limitando a compreensão da transferência de sedimentos durante eventos de grande magnitude (Paul *et al.*, 2023a). A integração de métricas de conectividade com a modelagem de fluxos de detritos tem sido identificada como uma abordagem promissora para melhorar a representação dos processos e a avaliação de perigo (Abatti *et al.*, 2021). Além disso, investigações sobre a estrutura sedimentar e a disponibilidade de sedimentos destacam a forte interação entre controles geomorfológicos e respostas hidrossedimentológicas, reforçando a importância de análises geomorfológicas e geomorfométricas detalhadas como base para a modelagem numérica (Paz; Paula, 2022). Esses resultados são consistentes com estudos recentes que discutem o papel da conectividade de sedimentos entre fluxos de detritos e sistemas fluviais (Cavalli *et al.*, 2026; Fan *et al.*, 2020).

Apenas uma pequena proporção dos estudos revisados abordou educação para desastres e conscientização pública. Entretanto, a literatura disponível enfatiza consistentemente a importância de integrar o conhecimento sobre fluxos de detritos em programas de educação e preparação comunitária (Kobiyama; Michel; Goerl, 2019; Kobiyama *et al.*, 2015). Para ampliar a compreensão desta ciência, é essencial integrar esse conhecimento em todos os níveis de ensino no Brasil (Kobiyama *et al.*, 2015), a fim de melhorar a percepção de risco e a preparação para desastres.

A revisão sistemática da literatura também revelou diversas lacunas metodológicas nas pesquisas sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil. Nos estudos de modelagem computacional, a ausência de critérios bem definidos e de metodologias padronizadas de mapeamento (Oliveira *et al.*, 2018) resultam em dificuldade na comparação de mapas de suscetibilidade ou perigo produzidos para diferentes regiões, uma vez que podem utilizar critérios subjetivos ou abordagens metodológicas distintas (Facuri; Picanço, 2021). Além disso, os estudos revisados destacam a necessidade de fortalecer a integração entre a avaliação de perigos naturais e o planejamento do uso e ocupação do solo (Fernandes *et al.*, 2009; Kobiyama *et al.*, 2010; Pellerin *et al.*, 2002). Propriedades geotécnicas e do solo (Picanço; Mesquita; Melo, 2019), evidências sedimentológicas (Picanço *et al.*, 2016), hidrologia de encostas (Kobiyama *et al.*, 2010) e análises de frequência de fluxos de detritos (Cabral *et al.*, 2021; Cabral *et al.*, 2020) devem ser incorporadas de forma mais consistente nas avaliações de perigo e nos estudos de suscetibilidade. Outros fatores relevantes de deflagração, como cobertura do solo, geologia do substrato rochoso e condições antecedentes de precipitação, também requerem investigações adicionais (Dias; McDougall; Vieira, 2022).

De forma mais ampla, pesquisas anteriores demonstraram que a ocorrência e a extensão espacial de eventos de movimentos de massa são facilmente reconhecidas apenas após o mapeamento de cicatrizes, que pode ser realizado utilizando imagens de satélite, especialmente em áreas de difícil acesso (Lopes, 2006; Marcelino, 2003; Okida, 1996; Riffel; Ruiz; Guasselli, 2016; Sestini, 1999). Em consonância, o sensoriamento remoto foi uma das ferramentas mais utilizadas entre os estudos incluídos nesta revisão. Na modelagem computacional, os estudos revisados demonstraram que o Modelo Digital de Elevação (MDE) é um dos dados de entrada mais comuns para simulações de fluxos de detritos. Entretanto, o desempenho dos modelos é fortemente influenciado pela qualidade e pela resolução espacial desse dado de entrada (Silveira; Silveira, 2025; Salvador; Michel, 2023; Kobiyama; Michel, 2019).

Por fim, os estudos revisados no Sul do Brasil sugerem que pesquisas futuras devem priorizar o aprimoramento da avaliação de riscos, especialmente por meio da identificação de áreas vulneráveis e da definição de zonas prioritárias para medidas preventivas de redução de riscos de desastres (Sugiyama; Gomes, 2022; Pellerin *et al.*, 2002).

6. Conclusões

O presente estudo avaliou o estado atual do conhecimento sobre fluxos de detritos no Sul do Brasil e identificou as principais lacunas que limitam a avaliação de perigo e a gestão de riscos. A revisão sistemática revelou que, embora as pesquisas sobre fluxos de detritos tenham avançado nas últimas duas décadas, o número de estudos permanece limitado considerando a frequência e os impactos socioeconômicos desses eventos na região. Os principais avanços incluem a expansão da modelagem computacional, das avaliações de suscetibilidade e das análises pós-eventos, com predominância de abordagens mistas (qualitativa–quantitativa) e investigações em escala local. Esses estudos contribuíram para uma melhor compreensão da dinâmica dos fluxos de detritos e para a identificação de áreas potencialmente perigosas.

Apesar desses avanços, importantes lacunas de pesquisa permanecem. Os estudos revisados destacaram consistentemente limitações relacionadas à disponibilidade de dados, ao monitoramento de longo prazo, à padronização metodológica e à compreensão da iniciação dos fluxos de detritos e da conectividade de sedimentos. Além disso, o número relativamente reduzido de estudos que abordam educação para desastres e preparação comunitária indica que a aplicação prática do conhecimento científico na Redução de Riscos de Desastres permanece limitada. O enfrentamento dessas lacunas exige a melhoria das redes de monitoramento, a padronização de metodologias e uma maior integração entre pesquisa científica, planejamento do uso e ocupação do solo e gestão de riscos.

Contribuições dos Autores: Concepção, L.L.C. e M.A.P.; metodologia, L.L.C. e M.A.P.; software, L.L.C. e I.G.A.; análise formal, L.L.C. e M.A.P.; pesquisa, L.L.C. e A.B.B.; preparação de dados, L.L.C. e A.B.B.; escrita do artigo, L.L.C. e A.B.B.; revisão, M.A.P., I.G.A. e F.M.F.; supervisão, M.A.P. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), projeto de pesquisa com o termo de outorga: 24/2551-0002124-8, Edital FAPERGS 06/2024 - Programa de pesquisa e desenvolvimento voltado a desastres climáticos.

Agradecimentos: À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Declaração de uso de Inteligência Artificial: Os autores declaram o uso de ferramenta de inteligência artificial generativa, denominada ChatGPT, utilizada na revisão gramatical e fluência do texto com supervisão e verificação humana.

Referências

1. ABATTI, B. H. *et al.* Relationship between sediment connectivity and debris flow in a mountain catchment. In: EGU General Assembly, 2021. Viena. Proceedings. Online: 2021. Disponível em: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-13885.html>>.
2. ALVARADO, L. A. S. Simulação bidimensional de corridas de detritos usando o Método de Elementos Discretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 145 p.

3. ANA. Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf>.
4. ANDRADES-FILHO, C. O. *et al.* The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. *Landslides*, v. 22, n. 11, p. 3615–3624, 2025.
5. ANDRADES-FILHO, C. O. *et al.* Nota Técnica Conjunta IGEO/CEPSRM (04/2024): Mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024. 2024. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/igeo/wp-content/uploads/2024/07/Nota-Tecnica-Conjunta-04-2024-.pdf>>.
6. BID. Avaliação dos efeitos e impacto das inundações no Rio Grande do Sul. Brasil: BID, 2024. Nota Técnica nº IDB-TN-03039. DOI: 10.18235/0013254
7. BRITO, M. G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2026/04/29/dois-anos-enchente-rs-entenda-por-que-buscas-fisicas-23-desaparecidos-encerraram.ghtml>>. Access in: 3 Aug. 2026.
8. CABRAL, V. C. *et al.* Characterization of a landslide-triggered debris flow at a rainforest-covered mountain region in Brazil. *Natural Hazards*, v. 108, n. 3, p. 3021–3043, 2021.
9. CABRAL, V. C. *et al.* Magnitude estimation of a landslide-triggered debris flow in the Serra do Mar Mountain Range, Brazil. In: EGU General Assembly, 2020. Viena. Proceedings. Online: 2020. Disponível em: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-3706.html?pdf>>.
10. CABRAL, V. C. *et al.* The consequences of debris flows in Brazil: a historical analysis based on recorded events in the last 100 years. *Landslides*, v. 20, n. 3, p. 511–529, 2023.
11. CAVALLI, M. *et al.* Sediment availability and connectivity: a geomorphological framework for debris-flow hazard assessment. In: EGU General Assembly, 2026. Viena. Proceedings. Online: 2026. Disponível em: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU26/EGU26-20802.html>>.
12. CEMADEN. Mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul - Nota Técnica nº 412/2024/SEI-CEMADEN. 2024.
13. COITINHO, J. R. *et al.* Post-glacial Permian debris flow deposits and their paleoclimatic implications (Mariana Pimentel paleovalley, southern Paraná Basin). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 107, 2021.
14. COSTA, J. E. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water clouds, hyperconcentrated clows, and debris clows. In: BAKER, V. R.; KOCHER, R. C.; PATTON, P. C. (Orgs.). *Flood geomorphology*. New York: John-Wiley & Sons, 1988, p. 113–122.
15. COSTA, M. G. *et al.* Standard Countermeasures Studies for Debris Flow Disasters in Brazil. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v. 13, n. 1, 2020.
16. DIAS, V. C. *et al.* Differences in the occurrence of debris flows in tropical and temperate environments: field observations and geomorphologic characteristics in Serra do Mar (Brazil) and British Columbia (Canada). *Brazilian Journal of Geology*, v. 52, n. 3, 2022.
17. DIAS, V. C.; MCDUGALL, S.; VIEIRA, B. C. Geomorphic analyses of two recent debris flows in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 113, 2022.
18. DOWLING, C. A.; SANTI, P. M. Debris flows and their toll on human life: A global analysis of debris-flow fatalities from 1950 to 2011. *Nat. Hazards*, v. 71, p. 203–227, 2014.
19. FACURI, G. G.; PISCANÇO, Jefferson de Lima. Evaluations and proposals for the debris flow hazard mapping method of the GIDES Project. *Landslides*, v. 18, n. 1, p. 339–352, 2021.
20. FAN, X. *et al.* The formation and impact of landslide dams – State of the art. *Earth-Science Reviews*, 2020.
21. FERNANDES, N. F. *et al.* Geomorphological Controls and Land-use Effects on Rainfall Triggered Debris Flows in Brazil. In: EGU General Assembly, 2009. Viena. Proceedings. Online: 2009.
22. FRANCK, A. G. Desempenho e análise de sensibilidade do modelo Morpho2DH em eventos extremos no sul do Brasil. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. 181p.
23. GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 2014.
24. HUNGR, O.; LEROUÉIL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, v. 11, p. 167–194, 2014. DOI: 10.1007/s10346-013-0436-y
25. HUSSIN, H. Y. Probabilistic run-out modeling of a debris flow in Barcelonnette. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2011. 107 p.
26. IMAIZUMI, F.; SIDLE, R.; KAMEI, R. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris clows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 33, p. 827–840, 2008.

27. IRDR. Peril Classification and Hazard Glossary. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk, 2014. IRDR Data Publication No. 1.
28. IVERSON, R. M. Physics of debris flow. *Review of Geophysics*, v. 35, n. 97, p. 245–296, 1997.
29. JAN, C. D.; SHEN, H. W. Review Dynamic Modeling of Debris Flows. In: RMANINI, A.; MICHIUE, M. (Orgs.). *Recent Developments on Debris Flows*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 93–116.
30. KOBİYAMA, M. *et al.* Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: Meteorological and geomorphic aspects. In: *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 2010. Online: WIT Press, 2010.
31. KOBİYAMA, M. *et al.* Historical analyses of debris flow disaster occurrences and of their scientific investigation in Brazil. *Labor & Engenho*, v. 9, n. 4, p. 76–89, 2015.
32. KOBİYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Historical views and current perspective of debris flow disaster management in Brazil. In: *12th International Symposium on Landslides*, 2016, Napoli. *Proceedings*. Taylor and Francis Inc., 2016. Available at: <<https://www.scopus.com/pages/publications/84984781475>>.
33. KOBİYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Proposal of Debris Flow Disasters Management in Brazil Based on Historical and Legal Aspects. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v. 11, n. 3, p. 5–93, 2019.
34. KOBİYAMA, M.; MICHEL, R. D. L. Debris-flow hazard investigation with Kanako-2D in a rural basin, Alto Feliz municipality (Brazil). In: *7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*. Online: 2019.
35. LOPES, E. S. S. Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006. 276 p.
36. LOPES, J. A. U. Encostas: Evolução, equilíbrio e condições de ocupação. Alcance, 2017.
37. MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. Introdução à geologia de engenharia. 4. ed. Santa Maria: UFSM, 2011.
38. MARCELINO, E. V. Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José do Campos, 2003.
39. OKIDA, R. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campo, 1996.
40. OKUDA, S. *et al.* Synthetic observation on debris flow, Part 6. Observation at valley Kamikamihorizawa of Mt. Yakedake in 1979. *Disaster Prevention Research Institute (DPRI) Annuals*, v. 23B, n. 1, p. 357–394, 1980.
41. OLIVEIRA, G. G. *et al.* Identification and analysis of areas susceptible to debris flow in the basin Taquari-Antas river, RS. *Pesquisas em Geociências*, v. 45, n. 2, 2018.
42. PAIVA, R. C. D. *et al.* Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional. *Clima: sensibilidade de vazões a variabilidade e mudanças climáticas - Relatório Final*. Brasília: 2024.
43. PAIXÃO, M. A.; KOBİYAMA, M. Relevant parameters for characterizing mountain rivers: a review. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 24, e10, 2019. DOI: 10.1590/2318-0331.241920180115
44. PAIXÃO, M. A.; KOBİYAMA, M.; POLETO, C.; MAO, L.; ÁVILA, I. G.; TAKEBAYASHI, H.; FUJITA, M. Relationship between morphology and sediment transport in a canyon river channel, Southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, v. 23, p. 4208–422, 2023. DOI: 10.1007/s11368-023-03584-x
45. PAUL, L. R. *et al.* Comparison of different rheological approaches and flow direction algorithms in a physically based debris flow model for data scarce regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8 Aug. 2023b.
46. PAUL, L. R. *et al.* The effects of debris flow on structural sediment connectivity: case studies in the Italian Alps and in Southern Brazil. In: *EGU General Assembly*, 2023. Viena. *Proceedings*. Online: 2023a. Available at: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/EGU23-12999.html>>.
47. PAZ, O. L. S.; PAULA, E. V. Alluvial plain morphostratigraphy affected by recent mud and debris flows: a study in the Jacaré River basin (southern coast of Brazil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 23, n. 4, p. 1978–1999, 1 Oct. 2022.
48. PELLERIN, J. *et al.* Les crues et laves torrentielles catastrophiques du 23 décembre 1995 dans l'État de Santa Catarina (Brésil subtropical) / The December 23rd 1995 floods and debris flows in Santa Catarina State (Subtropical Brazil). *Géomorphologie relief processus environnement*, v. 8, n. 1, p. 51–60, 2002.
49. PICANÇO, J. L. *et al.* Debris flow hazard zonation in Serra da Prata range, Paraná State, Brazil: Watershed morphometric constraints. *Landslides and Engineered Slopes*, 2016.
50. PICANÇO, J.; MESQUITA, M. J.; MELO, L. L. Geotechnical and Mineralogical Properties of Granite Regolith Related to Nucleation Mechanisms of Debris Flows in Tropical Areas. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v. 11, n. 3, 2019.

51. PIEDADE, C. R. C. *et al.* Debris flow in Serra do Mar/PR, Brazil, in 2017: damages to right of way, recovery and protection actions. In: Rio Pipeline Conference and Exposition, 2019. Proceedings. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, 2019. Available at: <<https://www.scopus.com/pages/publications/85148897521#>>.
52. PRISMA. PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses. Available at: <<https://www.prisma-statement.org/>>.
53. RIFFEL, E. S.; RUIZ, L. F.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos a partir de mineração de dados e do modelo SHALSTAB. *Revista Brasileira de Cartografia*, p. 1805–1818, 2016.
54. SAITO, S. M.; DIAS, M. C. A.; ALVALÁ, R. C. S.; STENNER, C.; FRANCO, C. O.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A.; SANTANA, R. A. S. M. Urban population exposed to risks of landslides, floods and flash floods in Brazil. *Sociedade e Natureza*, v. 31, e46320, 2019. DOI: 10.14393/SN-v31-2019-46320
55. SALVADOR, C. G.; MICHEL, G. P. Debris flow susceptibility from Landscape Descriptors. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 2, 1 Apr. 2023.
56. SEDEC/MIDR. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Disponível em: <<https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/graficos.xhtml>>. Access on 12 Jun. 2026.
57. SELBY, M. J. Hillslope materials and processes. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.
58. SESTINI, M. F. Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM-Landsat e SIG. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1999.
59. SHEN, W.; ZHAO, T.; ZHAO, J.; DAI, F.; ZHOU, G. G. Quantifying the impact of dry debris flow against a rigid barrier by DEM analyses. *Eng. Geol.*, v. 241, p. 86–96, 2018.
60. SIDLE, R. C.; OCHIAI, H. Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. In: AGU Annual Meeting, 2006. Washington, DC. Proceedings. Online: 2006.
61. SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Modeling the geomorphologic susceptibility to debris flow initiation with geomorphometric parameters and fuzzy logic in the mountainous region of Serra do Mar (state of Paraná, Brazil). *Natural Hazards*, v. 121, n. 10, p. 11855–11883, 1 Jun. 2025.
62. SONG, D.; CHOI, C. E.; NG, C. W. W.; ZHOU, G. G. D.; KWAN, J. S. H.; SZE, H. Y.; ZHENG, Y. Load-attenuation mechanisms of flexible barrier subjected to bouldery debris flow impact. *Landslides*, v. 16, p. 2321–2334, 2019.
63. STRIEDER, A. J. *et al.* Predicting debris flow susceptible areas through GIS modelling in Aparados da Serra (Brazil). In: WIT Transactions on Engineering Sciences, 2008. Proceedings. Online: WIT Press, 2008.
64. SUGIYAMA, M. T. O. *et al.* Regional Scale Mapping of Debris-Flow Susceptibility in the Caminhos dos Cânions do Sul GeoPark, Southern Brazil. In: 10th International Conference on Geomorphology, 2022. Coimbra. Proceedings. Online: 2022.
65. SUGIYAMA, M. T. O.; GOMES, M. C. V. Susceptibility to the Development of Debris Flows in the Territory of the Caminhos Dos Cânions Do Sul Geopark in Southern Brazil. In: XIII SINAGEO (National Symposium of Geomorphology), 2022. Proceedings. Online: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2022. Available at: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05178-4_14>.
66. TAKAHASHI, T. Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures. 1. ed. London: Taylor & Francis Group, 2007.
67. TAKAHASHI, T. Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures. 2. ed. London: Taylor & Francis Group, 2014.
68. THOURET, J. C. *et al.* Lahars and debris flows: Characteristics and impacts. *Earth Sci. Rev.*, 2020.
69. TRUJILLO-VELA, M. G. *et al.* An overview of debris-flow mathematical modelling. *Earth-Science Reviews*, v. 232, n. 104135, 1 Sep. 2022.
70. VANDINE, D. F.; BOVIS, M. History and Goals of Canadian Debris Flow Research, A Review. *Natural Hazards*, v. 26, p. 26–69, 2002.
71. VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Orgs.). Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. Washington, DC: Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, p. 11–33, 1978.
72. WANG, Z.; LIU, D.-C.; YOU, Y.; LYU, X.-B.; LIU, J.-F.; ZHAO, W.-Y.; SUN, H.; WANG, D.-W.; LIU, Y. Characteristics of debris flow impact on a double-row slit dam. *J. Mt. Sci.*, v. 20, p. 415–428, 2023.
73. YI, W.; YU, B.; LIU, Q.; HU, J.; ZHOU, J. Laboratory Investigation on the Impact Force of Large Boulders in Debris Flows. *Sensors*, v. 26, n. 6, p. 1983. DOI: 10.3390/s26061983



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.