GRANULOMETRIA DE DEPÓSITO DE FLUXO DE DETRITOS: SANTA TEREZA (RS), 2024

Laura Lahiguera Cesa [1]; Alex Becker Bobsin [2]; Maurício Andrades Paixão [3] & Laura Moraes Henicka [4]

Palavras-Chave – Metodologia, Amostragem, Diâmetro equivalente.

INTRODUÇÃO

Fluxo de detritos é um dos tipos de movimento de massa mais complexo e destrutivo, podendo ser descrito como uma mistura de água, lama e sedimentos governada pela gravidade que atinge grande mobilidade a partir do momento em que os espaços vazios são saturados (Takahashi, 2007). Do ponto de vista geomorfológico, Hussin (2011) caracterizou os fluxos de detritos em três zonas: de iniciação (ruptura do solo); de transporte (canais em regiões declivosas com sedimentos sendo incorporados ao fluxo); e de deposição (sedimentos depositados em formato de diques ou de cones).

Os fluxos de detritos são constituídos por uma ampla variedade de tamanhos de partículas, desde silte até grandes blocos e a contínua incorporação e deposição de sedimentos ao longo do escoamento modifica constantemente sua composição granulométrica, tornando sua caracterização complexa (Alvarado, 2006). Além disso, durante o evento, parte desse sedimento pode ser carreada para rios e canais próximos, sem a possibilidade de serem avaliados em uma posterior análise. Portanto, entende-se por depósito de movimento de massa o material remanescente após a ocorrência do evento.

De modo geral, a granulometria é caracterizada como a área de estudo que determina às dimensões físicas de uma partícula sólida (Amaral, Formiga, 2019). Ela permite identificar a fonte do material erodido (Marc, Turowski, Meunier, 2021) e compreender os mecanismos de transporte e deposição do material (Makris *et al.*, 2020). Diversos autores adotam metodologias distintas para a análise de diâmetros dos grãos, as quais podem ser complementares umas às outras, já a utilização de apenas um método pode introduzir distorções nos resultados (Harvey *et al*., 2022).

Essa ciência já se mostra bem estabelecida no estudo da hidrodinâmica de rios e lagos (Amorim *et al*., 2009), sendo possível sua aplicação na caracterização de depósitos de movimento de massa (Harvey *et al*., 2022; Scally, Owens, 2005). Para isso, torna-se necessário amostragens detalhadas dos sedimentos nas três dimensões - comprimento, largura e profundidade (Makris *et al*., 2020), o que é um desafio significativo, visto que, na maioria das vezes, trata-se de locais de difícil acesso, além de heterogêneos em planta e em profundidade (Harvey *et al*, 2021).

A caracterização granulométrica de movimentos de massa ainda apresenta desafios metodológicos, em razão da ampla variabilidade de tamanho de grão e das limitações associadas às diferentes técnicas de amostragem (Harvey *et al*., 2022; Scally, Owens, 2005). Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver e aplicar uma metodologia de coleta de amostras para análise granulométrica *in loco* em um fluxo de detritos ocorrido em 2024, no município de Santa Tereza, Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

A área de estudo foi a cicatriz do fluxo de detritos em Santa Tereza (RS). O evento ocorreu durante o desastre de 2024, considerado o maior em extensão já registrado no Brasil e sendo Santa Tereza o

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS): l.lauracesa@gmail.com
2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): alexbecker071107@gmail.com
3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS): mauricio.paixao@ufrgs.br
4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS): laurahenicka@gmail.com

município com maior número de cicatrizes mapeadas no estado (Andrades-Filho *et al*., 2025).

De acordo com a base de dados pedológica 1:250.000 (IBGE, 2025), a região apresenta solos do tipo Neossolos Litólicos. Esses solos são pouco desenvolvidos e com reduzida profundidade, além de serem constituídos por elevada proporção de fragmentos grosseiros (Santos *et al.*, 2025; Zaroni, Santos, Almeida, 2021). Adicionalmente, análises prévias estimaram um diâmetro médio do grão de aproximadamente 1 mm no local do evento (Cesa *et al.*, 2026).

A metodologia de análise granulométrica do depósito de fluxo de detritos foi desenvolvida com base no método de amostragem de material grosseiro em leitos fluviais de Wolman (1954), incorporando as premissas e recomendações apresentadas por Harvey *et al*. (2022) e Scally, Owens (2005). Tem-se, como objetivo, um mínimo de 100 amostras (Wolman, 1964) e um ideal científico de 250 a 300 amostras (Scally, Owens, 2005). Para isso, quatro etapas foram estruturadas: i) definição das seções; ii) seleção das amostras; iii) amostragem; e iv) análise da granulometria.

Definição das seções

Na cicatriz, foi estabelecido um sistema de transectos representativo do depósito, onde foram criadas seções horizontais que cruzam perpendicularmente a extensão do fluxo de detritos (Wolman, 1954; Scally, Owens, 2005). Destaca-se que a divisão das seções depende do tamanho do depósito e das singularidades do local (Scally, Owens, 2005), visto que, mesmo sendo definidas seções específicas com espaçamento regular, nem sempre é possível a realização das medições *in loco*.

Seleção das amostras

De acordo com Wolman (1954), visando uma representatividade estatística, as partículas foram selecionadas estendendo-se uma fita métrica ao longo do comprimento da seção e definindo-se um intervalo padrão para medição. Assim, a amostra foi escolhida como sendo a partícula imediatamente abaixo de cada marcação, coletada superficialmente. Ressalta-se que a aleatoriedade das coletas é proveniente da atitude do amostrador, ou seja, o observador deve evitar o contato visual direto com o leito de coleta (Wolman, 1954; Harvey *et al*., 2022). Entretanto, em caso de o grão interceptado ser muito pequeno ou muito grande para ser medido, o grão mais próximo deveria ser escolhido (Scally, Owens, 2005; Hubert, Filipov, 1989).

Amostragem

Wolman (1964) descreve como foco a análise de um único eixo da amostra. Entretanto, de modo a refinar a amostragem em campo, a presente metodologia realizou a medição nos três eixos principais do grão: eixo *A* (maior dimensão), eixo *B* (dimensão intermediária) e eixo *C* (menor dimensão). De forma semelhante a Scally, Owens (2005), paquímetros foram utilizados em comprimentos de eixo menores que 15,5 cm, com uma precisão de medição de 0,1 cm. Uma trena pequena foi utilizada para os comprimentos que excedem 15,5 cm, com precisão variando de 0,1 a 1,0 cm, dependendo do tamanho da partícula e da curvatura de sua superfície.

Análise da granulometria

Hubert, Filipov (1988) destacam a limitação metodológica de comparação direta entre os sedimentos grossos e as frações finas, pois elas não conseguem ser representadas em uma única curva granulométrica. Para contornar isso, utilizou-se o conceito de diâmetro equivalente, conforme a Equação 1. A equivalência atua como um padronizador métrico, permitindo uma comparação entre diferentes frações de tamanho de grãos, e evita distorções, pois garante que a forma do grão não mascare o seu real volume ou seu comportamento hidrodinâmico no fluxo. Portanto, o diâmetro equivalente (D_{equiv}) consiste na conversão das dimensões de uma partícula geométrica de formato irregular, no diâmetro teórico de uma esfera perfeita (Allen, 1997; ISO, 1998).

$$D_{equiv} = (A + B + C)^{1/3} \quad (1)$$

RESULTADOS

Seis seções foram realizadas em campo (Tabela 1), influenciadas por condicionantes de acesso e vegetação. O espaçamento padrão adotado na coleta de amostra foi de 0,5 m. Ao total, 281 amostras foram coletas, atingindo o ideal científico. A Figura 1 apresenta a distribuição do tamanho do grão, com presença de areias, grânulos e seixos (0,064 a 64 mm), seguindo a Escala de Wentworth. A zona de iniciação retornou grãos mais finos, enquanto as zonas de transporte e deposição obtivera maiores flutuações de diâmetros. Os resultados de tamanho de grão se mostraram coerentes com os dados anteriores da área de estudo (Cesa *et al.*, 2026; Santos *et al.*, 2025; Zaroni, Santos, Almeida, 2021), o que permite concluir que a metodologia proposta é aplicável ao fluxo de detritos de Santa Tereza.

Tabela 1 - Detalhamento das seções amostradas em campo

Seção	Zona do fluxo de detritos	Comprimento total da seção (m)	Número de amostras
1	Iniciação	46	93
2	Transporte	11,5	24
3	Transporte	22	45
4	Transporte	16	33
5	Deposição	24	49
6	Deposição	18	37

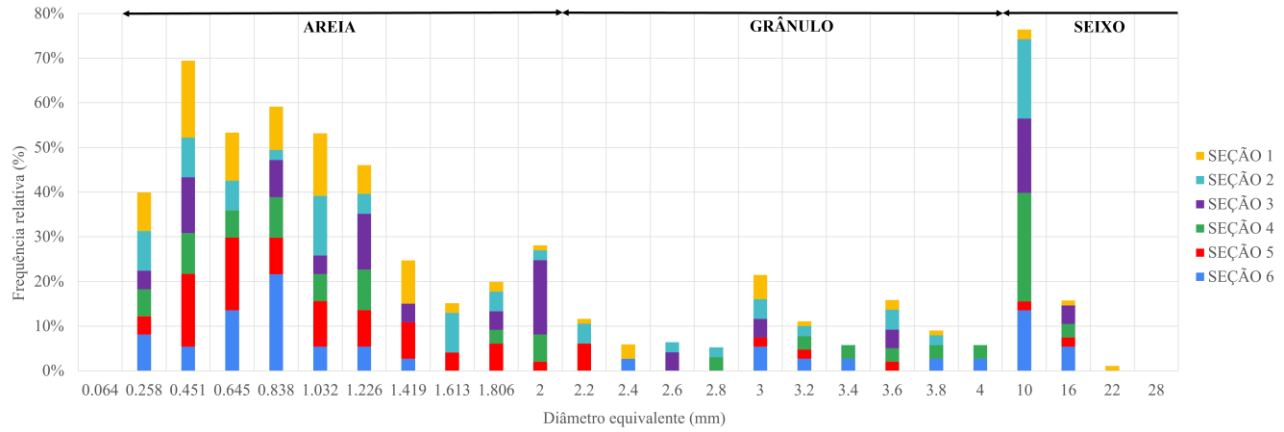


Figura 1. Gráfico de distribuição relativa dos diâmetros equivalentes amostrados. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Os fluxos de detritos são fenômenos ainda pouco conhecidos e difíceis de serem estudados, sobretudo em razão da limitação no monitoramento em tempo real. Conforme Harvey *et al*. (2022), a análise da granulometria em depósitos envolve desafios relacionados à precisão, representatividade e viabilidade operacional. Assim, é importante considerar não apenas os objetivos da pesquisa, mas também as características e as limitações do local. Os resultados obtidos neste estudo, com a aplicação da metodologia desenvolvida, reforçam a importância do planejamento prévio, fundamentado no conhecimento das condições geomorfológicas da área de estudo e da história do evento.

Por fim, a documentação detalhada dos procedimentos adotados e dos resultados alcançados contribuem para a reprodutibilidade do estudo e para o avanço do conhecimento sobre a caracterização granulométrica de fluxos de detritos. Adicionalmente, a compreensão da granulometria desse fenômeno é parte essencial na construção de modelos reológicos que representem os fluxos de detritos, bem como é um dado de entrada em simulações computacionais, as quais são ferramentas capazes de aprimorar as estratégias de redução de risco em desastres.

REFERÊNCIAS

ALLEN, T. (1997). "*Particle Size Measurement*". Powder Technology Series, v. 1, p. 1-25.
ALVARADO, L. A. S. (2006). *Simulação bidimensional de corridas de detritos usando o Método de Elementos Discretos*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 120 p.
AMARAL, A. K. N.; FORMIGA, K. T. M. (2019). "*Análise da distribuição granulométrica ao longo da bacia hidrográfica do rio meia ponte – Goiás*". Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 16, e5.
AMORIM, M. A. *et al*. (2009). "*Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil*". Acta Amazonica, v. 39, n. 1, p. 165-172.
ANDRADES-FILHO, C. O. *et al*. (2025). "*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.
CESA, L. L.; PAIXÃO, M. A.; BOBSIN, A. B.; ALMEIDA, A. J. R. (2026). "I*ntegration of numerical simulation (Morpho2DH) and fieldwork for a 2024 debris flow event in Santa Tereza, Rio Grande do Sul, Brazil*" in Anais do EGU General Assembly 2026, Vienna, Áustria, 2026, pp. 1-2.
HARVEY, E. L.; HALES, T. C.; HOBLEY, D. E. J.; LIU, J.; FAN, X. (2022). "Measuring the grain-size distributions of mass movement deposits". Earth Surface Processes and Landforms, v. 47, n. 15, p. 1-16.
HUBERT, J. F.; FILIPOV, A. J. (1989). "*Debris-flow deposits in alluvial fans on the west flank of the White Mountains, Owens Valley, California, U.S.A.*". Sedimentary Geology, v. 61, p. 177-205.
HUSSIN, H. Y. (2011). *Probabilistic run-out modeling of a debris flow in Barcelonnette*. Dissertação de Mestrado, University of Twente, Enschede/Netherlands, 95 p.
IBGE. (2025). *Pedologia 1:250.000*. Rio de Janeiro: IBGE.
ISO. (1998). *ISO 9276-1:1998: Representation of results of particle size analysis — Part 1: Graphical representation*. 2. ed. International Organization for Standardization, Genebra, 12 p.
MAKRIS, S.; MANZELLA, I.; COLE, P.; ROVERATO, M. (2020). "*Grain size distribution and sedimentology in volcanic mass-wasting flows: Implications for propagation and mobility*". International Journal of Earth Sciences, v. 109, n. 8, p. 2679–2695.
MARC, O.; TUROWSKI, J. M.; MEUNIER, P. (2021). "*Controls on the grain size distribution of landslides in Taiwan: The influence of drop height, scar depth and bedrock strength*". Earth Surface Dynamics, v. 9, p. 995–1011.
SANTOS, H. G. *et al.* (2025). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 6. ed. Brasília: Embrapa, 393 p.
SCALLY, F. A.; OWENS, I. F. (2005). "*Depositional processes and particle characteristics on fans in the Southern Alps, New Zealand*". Geomorphology, v. 69, p. 46-56.
TAKAHASHI, T. (2007). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures.* 1. ed. Taylor & Francis Group, London/UK, 448 p.
WOLMAN, M. G. (1954). "*A method of sampling coarse river-bed material*". Transactions, American Geophysical Union, v. 35, n. 6, p. 951-956.
ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G.; ALMEIDA, E. P. C. (2026). *Solos tropicais: Neossolos e Neossolos Litólicos*. Embrapa Solos.

AGRADECIMENTOS

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