

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS

Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

NOTA TÉCNICA Nº 412/2024/SEI-CEMADENNº do Processo: **01242.000195/2024-93**Documento de
Referência:Interessado: **Casa Civil da Presidência da República, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**

Nº de Referência:

Assunto: **MAPEAMENTO DOS MOVIMENTOS DE MASSA RELACIONADOS AO DESASTRE DE ABRIL-MAIO DE 2024 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL****1. SUMÁRIO EXECUTIVO**

1. Em razão dos desastres ocorridos no estado do Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024, a Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento - SAM, da Casa Civil da Presidência da República solicitou ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), informações sobre as áreas impactadas pelas manchas de inundações e pelos movimentos de massa, que afetaram centenas de cidades e milhares de pessoas. Neste escopo, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) do MCTI contribuiu para a referida demanda, elaborando o mapeamento de movimentos gravitacionais de massa a partir de imagens orbitais de satélites, em especial associado ao evento hidro meteorológico extremo ocorrido entre os dias 29 de abril e 03 de maio de 2024, e que causaram o desastre que motivou decretos de calamidade pública e situação de emergência em vários municípios do estado (Decreto nº 57.600 de 04 de maio de 2024 e Decreto nº 57.626 de 21 de maio de 2024).

2. O mapeamento efetuado foi elaborado por profissionais especialistas da área de geociências integrantes das Coordenações-Gerais de Operações e Modelagem e de Pesquisa e Desenvolvimento do CEMADEN/MCTI, bem como da Universidade Estadual Paulista–UNESP/Campus de São José dos Campos, instituição parceria do CEMADEN/MCTI. Ressalta-se que o mapeamento se baseou em imagens de satélites dos dias 06-08/05/2024.

2. METODOLOGIA

3. Os movimentos de massa foram mapeados por interpretação visual, através de vetorização interativa, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, em cenas do sensor ótico imageador PlanetScope (resolução de 3,125m), dos dias 06, 07, 08 de maio de 2024 e Sentinel-2 (resolução de 10 m), do dia 06 de maio de 2024. As feições mapeadas correspondem, portanto, àquelas deflagradas pelo primeiro e mais intenso evento de chuva ocorrido no estado. As cenas do satélite PlanetScope foram acessadas através do plugin no SIG QGIS, disponibilizadas pela Plataforma Brasil Mais (Rede MAIS/MJSP, inclui material © 2023 Planet Labs Inc. Todos os direitos reservados). O mapeamento final é compatível com a escala 1:4.000, bem como os dados estão no Sistema de Coordenadas Geográficas e no Sistema de Referência WGS84.

4. Foram mapeadas as áreas de rupturas, transportes e deposição dos movimentos de massa visíveis nas imagens a partir de chaves de interpretação como a cor, forma e padrões das feições, com o apoio de Modelo Digital de Terreno (NASADEM, SRTM). Além dos polígonos, foram posicionados pontos próximos às superfícies de ruptura dos deslizamentos (Figuras 1 e 2).

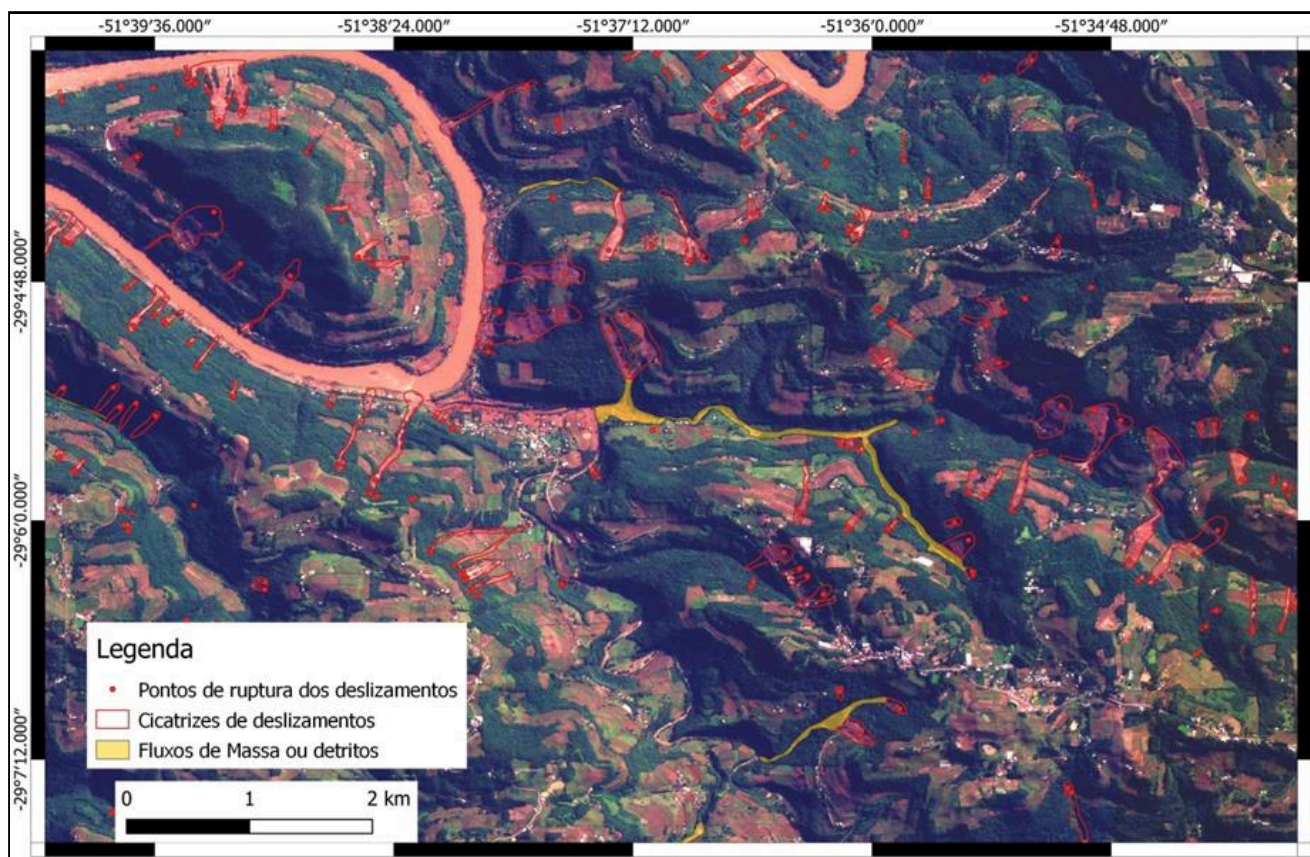


Figura1. Mapeamento dos movimentos de massa em uma área do município de Bento Gonçalves (RS), apresentado sobre imagens do Satélite PlanetScope. Nota-se que um mesmo polígono pode incluir múltiplos pontos de rupturas. Em alguns casos, as cicatrizes dos fluxos de massa foram separadas.

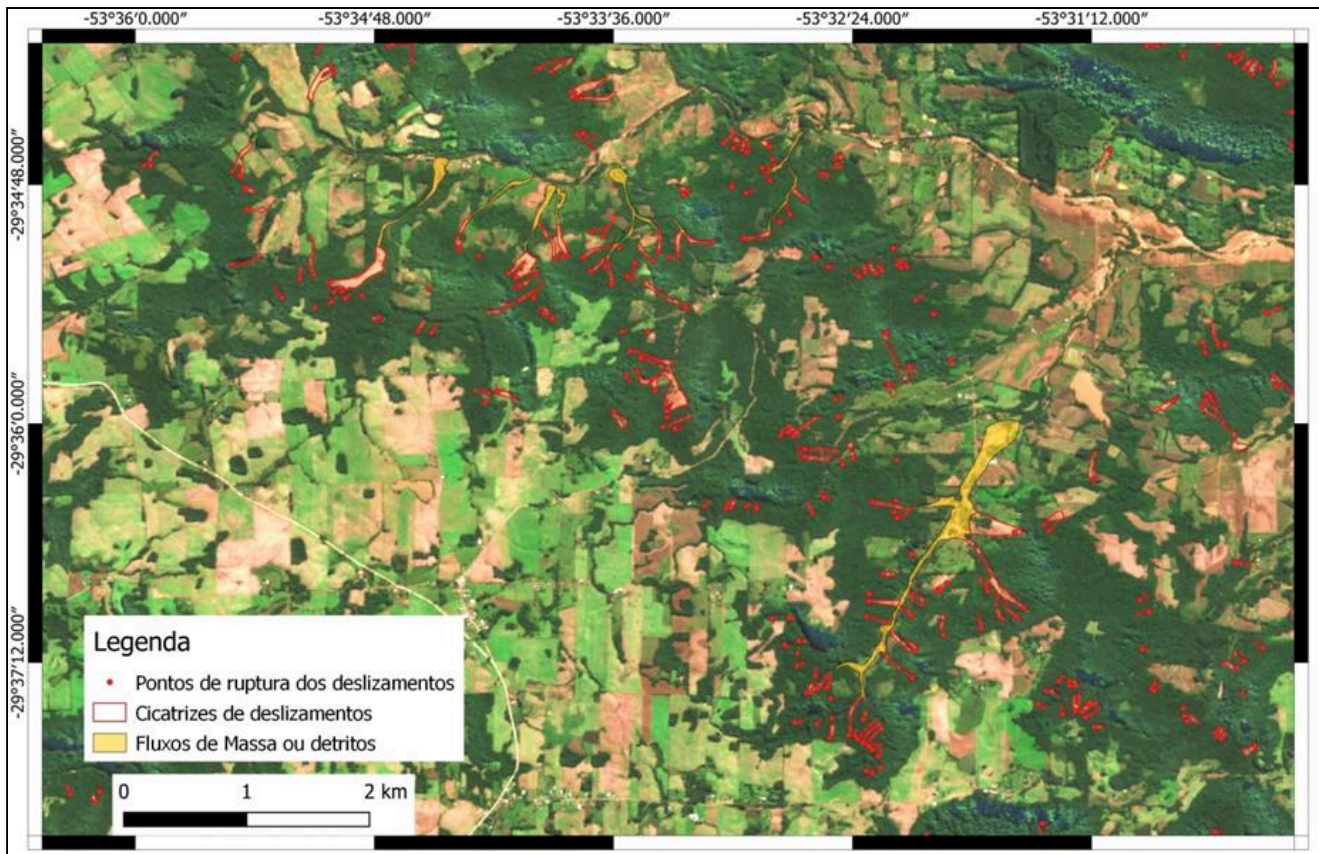


Figura 2. Mapeamento dos movimentos de massa em uma área do município de Silveira Martins (RS), apresentado sobre imagens do Satélite Sentinel-2. Um mesmo polígono pode incluir múltiplos pontos de rupturas. Em alguns casos, as cicatrices dos fluxos de massa foram separadas.

5. Para certificar que se tratavam de feições deflagradas no evento do início de maio, as imagens foram comparadas com imagens anteriores do Google Earth, ESRI e PlanetScope entre 18 e 21 de abril de 2024, permitindo uma análise de dinâmica multi temporal e detecção de mudanças. Por se tratar de um mapeamento realizado manualmente, houve dupla checagem em todos os municípios mapeados, a fim de mitigar as variações do mapeamento decorrentes da experiência, interpretação e discricionariedade dos mapeadores.
6. As feições de movimentos de massa passíveis de mapeamento correspondem a deslizamentos de médio e de grande portes, destacando-se, como mais frequentes, os deslizamentos planares rasos e fluxos de detritos. Os polígonos correspondentes aos fluxos de detritos nos canais de drenagem foram posteriormente separados das demais feições. Os polígonos mapeados podem conter, portanto, um único processo de deslizamento ou múltiplos processos coalescentes ou que desenvolveram um fluxo de detritos de encosta à jusante (tipologia = Cicatrices), ou fluxos de detritos em canais de drenagem (tipologia = Fluxos N1). Exemplos de tais tipologias são apresentados na Figura 3.

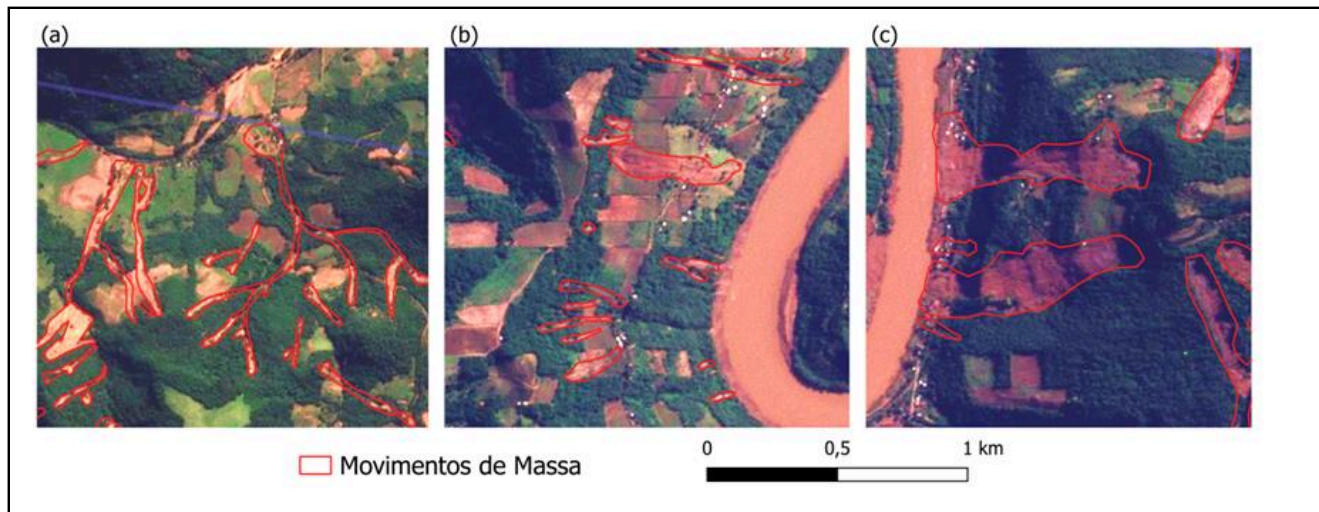


Figura 3. Exemplos de feições de movimentos de massa mapeadas a partir de imagens do Satélite PlanetScope. (a) Deslizamentos múltiplos que se converteram em fluxos de detritos a jusante; (b) Deslizamentos planares de diferentes magnitudes; (c) deslizamentos planares de grande magnitude com deposição junto à calha fluvial.

7. Devido às restrições impostas pela resolução das imagens utilizadas, as menores feições de deslizamentos identificadas correspondem a áreas que variam de 500 a 2000 m². Ressalta-se que, com base em estudos sobre as propriedades estatísticas dos deslizamentos relacionados a eventos de chuva em outras regiões (Stabile & Colangelo, 2024), que parte dos deslizamentos pode ter áreas menores e, portanto, há restrição do método utilizado para a identificação de pequenos deslizamentos, especialmente aqueles em taludes de áreas urbanas. Além disso, processos lentos, como rastejo e trincas de deslizamentos rotacionais em atividades não fazem parte do escopo do mapeamento provido, por não serem visíveis a partir das imagens utilizadas. Para cobrir as lacunas decorrentes de áreas sombreadas nas imagens do satélite PlanetScope (principalmente faces Sul, Sudoeste e Oeste) foram utilizadas as cenas do satélite Sentinel-2. Nestes casos, as restrições quanto às feições visíveis são maiores devido à resolução espacial das imagens. A sobreposição das feições observadas com áreas inundadas, a presença de depósitos de sedimentos e lama formados por extensas áreas adjacentes às encostas e a presença frequente de glebas com solo exposto também constituíram fonte de incertezas na delimitação das feições em determinadas áreas.

8. É importante ressaltar, ainda, que o método visa mapear a expressão visível dos movimentos de massa, ou seja, desde as zonas de ruptura até a deposição dos sedimentos. O mapeamento não se propõe, assim, a subsidiar uma análise da trajetória dos movimentos gravitacionais de massa ou inferir as zonas de atingimento invisibilizadas pela vegetação ou pela resolução das imagens dos satélites.

9. Para a confirmação do mapeamento, bem como para análises mais detalhadas que envolvam pequenos movimentos de massa (ex. taludes de áreas urbanas) ou processos ativos sem superfícies de rupturas já definidas (ex. processos de rastejo com trincas no terreno) são imprescindíveis o uso de imagens de satélite de maior resolução e o mapeamento de campo.

3. RESULTADOS DO MAPEAMENTO

10. Face às considerações acima, foram identificados 13.945 polígonos (Anexo 1) relacionados a feições de movimentos de massa, dos quais 13.804 polígonos referem-se a deslizamentos e fluxos de detritos de encostas e 141 a polígonos com fluxos de detritos em canais de drenagem, totalizando aproximadamente 9.175 hectares de áreas afetadas e 15.057 pontos de rupturas (Figura 4, Anexo 2). Os dados foram discretizados por bacia hidrográfica, destacando-se as três mais afetadas: 6.276 hectares na Bacia Taquari-Antas; 1.331 hectares na Bacia do Alto Jacuí e 750 hectares na Bacia do Caí (Figura 5). Cabe ressaltar que, embora a grande maioria dos polígonos (12.932) tenha apenas um ponto de ruptura (deslizamentos simples), muitos possuem múltiplos pontos de rupturas, envolvendo deslizamentos e fluxos de detritos coalescentes ou que convergiram para uma mesma zona de deposição, chegando a um máximo de 10 rupturas por polígono (Tabela 1). Além disso, os 141 polígonos que representam apenas zonas de transporte e deposição de fluxos de detritos em canais de drenagem não apresentam pontos de rupturas.

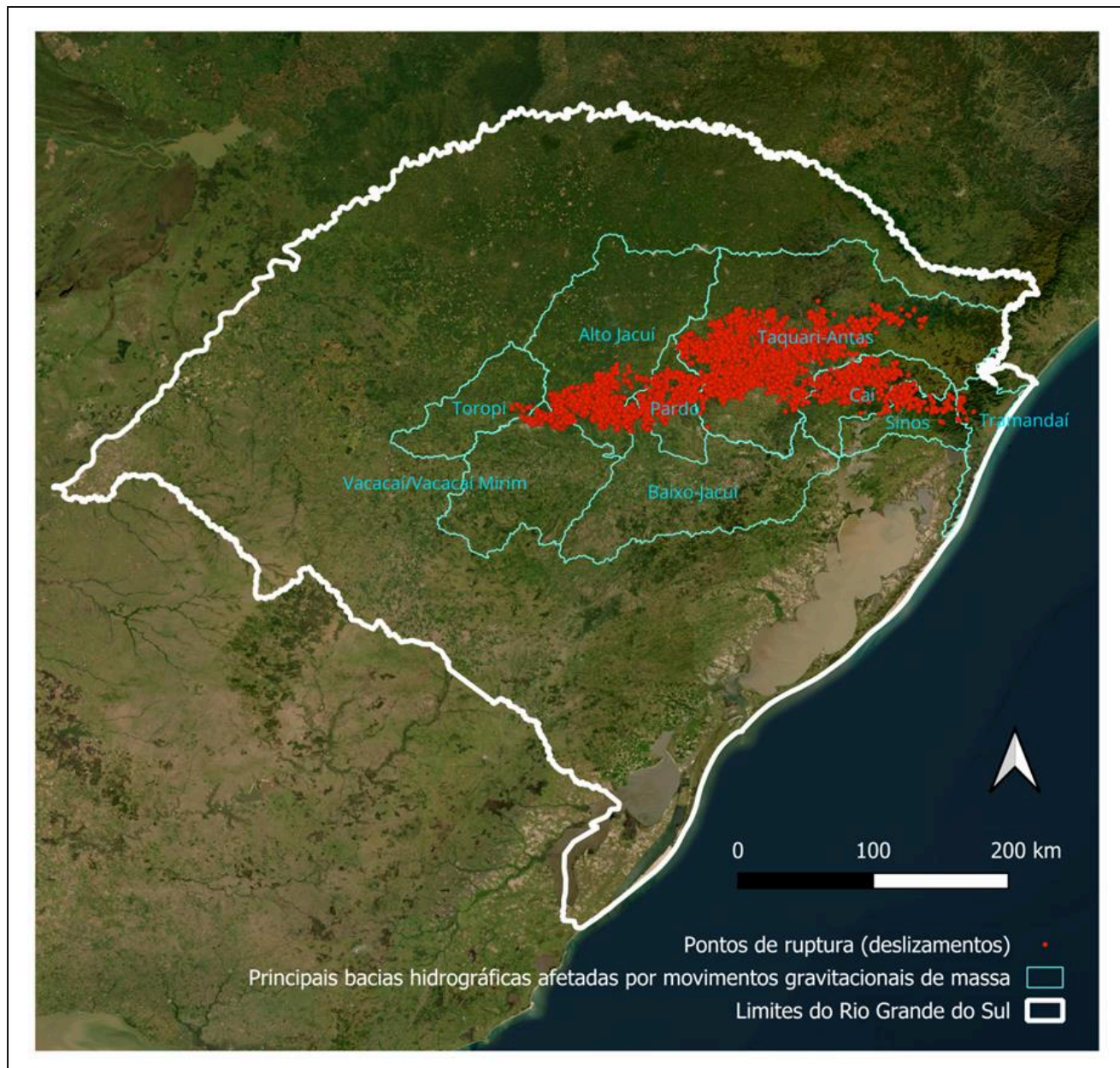


Figura 4. Distribuição dos pontos de rupturas (deslizamentos) no estado do Rio Grande do Sul com destaque para as principais bacias hidrográficas atingidas pelos movimentos de massa.

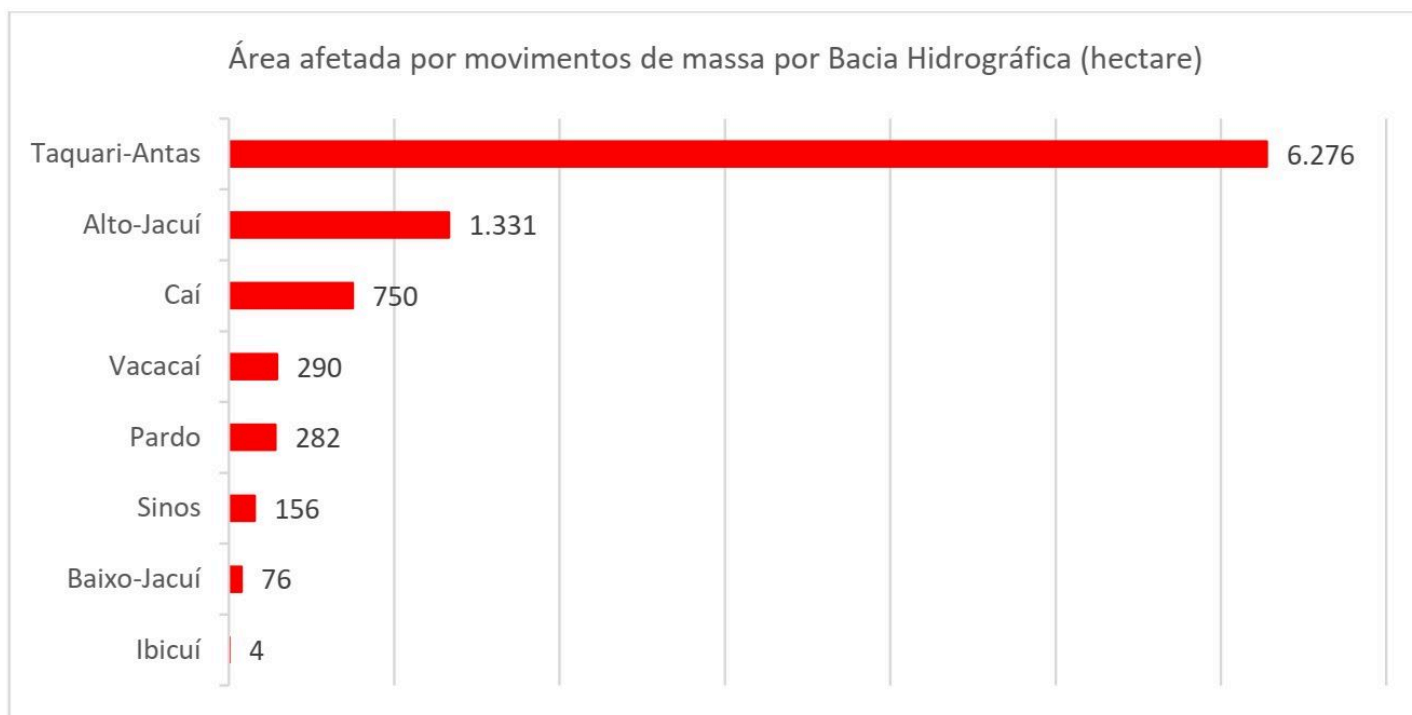


Figura 5: Gráfico das áreas afetadas (em hectares) por bacia hidrográfica.

Tabela 1. Distribuição dos pontos de rupturas pelos polígonos de movimentos de massa

Rupturas	Quantidade de polígonos
0	141
1	12932
2	655
3	136
4	46
5	13
6	11
7	4
8	3
9	0
10	4

11. A área média dos polígonos é de $\sim 0,66$ ha, enquanto a mediana é de $\sim 0,27$ ha. Os maiores polígonos mapeados têm área de mais de 10 hectares (Figura 6) e representam grandes deslizamentos ou deslizamentos coalescentes com frequentes deflagrações de fluxos de detritos a jusante (Figura 7). Os menores polígonos atingem até $0,0075$ ha (75 m²), embora a distribuição de frequência dos polígonos mostre que aqueles entre $0,06$ a $0,1$ ha (600 a 1000 m²) foram raramente mapeados (Figura 6). Ainda que se possa aventar um limite inferior para o tamanho das cicatrizes de deslizamentos a partir destes dados, as limitações das imagens para o reconhecimento de feições inferiores a 1000 m² sugerem que a principal hipótese para esta distribuição de frequência seja que a resolução das imagens permitiu o mapeamento adequado de apenas movimentos de massa relativamente grandes (pelo menos de 600 a 1000 m²) (Figura 8).

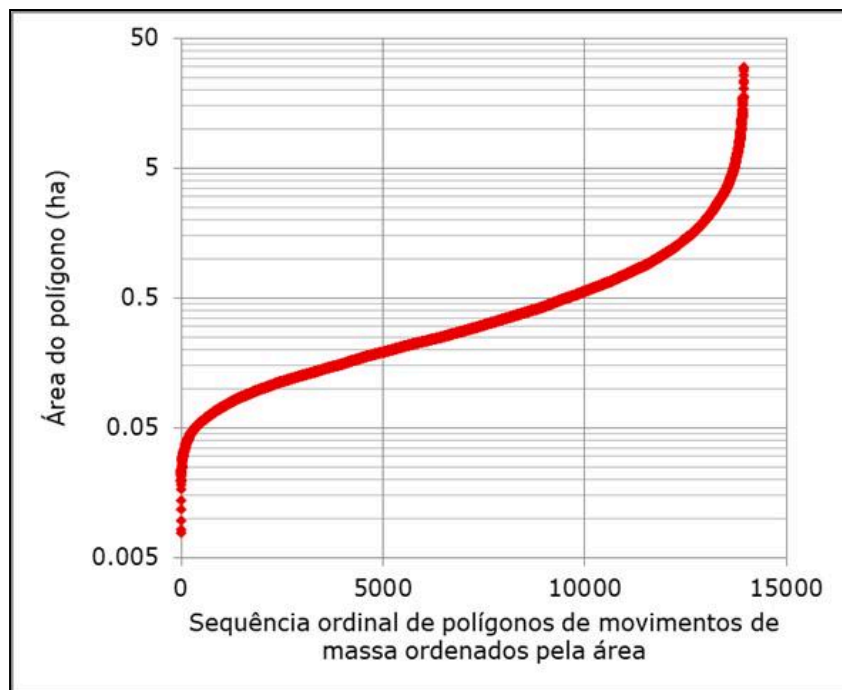


Figura 6. Distribuição de frequência da área dos polígonos de movimentos de massa mapeados.

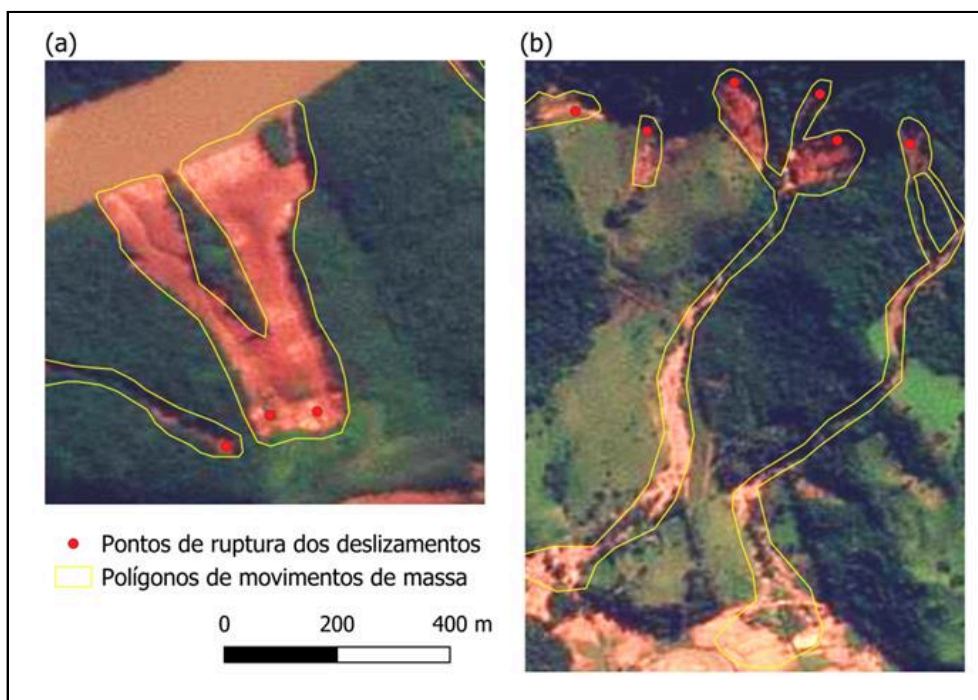


Figura 7. Exemplos de grandes polígonos de movimentos de massa sobre imagens PlanetScope: (a) Grandes deslizamentos coalescentes totalizando um polígono de ~14 ha com dois pontos de ruptura; (b) Deslizamentos com fluxo de detritos totalizando polígonos de ~6 ha e ~7 ha.



Figura 8. Exemplo de pequenos polígonos de movimentos de massa (deslizamentos) sobre imagens PlanetScope. Os menores polígonos na imagem têm aproximadamente 0,07 ha (700 m²) e 0,14 ha (1.400 m²).

12. Destaca-se que várias das cicatrizes identificadas e mapeadas assemelham-se com os padrões definidos por Domingues (2001). Rupturas em vales apresentaram forma alongada isolada, forma alongada em série (Figura 3a), forma de colher centralizada, forma de colher em sequência, forma de colher agrupada, forma ramificada e forma de leque em altas vertentes. Os processos identificados próximos aos rios de ordem elevada apresentaram formas de prancha do topo à base (Figura 5a), forma de prancha nas baixas vertentes (também observadas nos vales), forma entrelaçada e, quando associados a canais de única ordem, forma de colher isolada.

13. Como evidenciado, a deflagração desses processos foi complexa, razão pela qual, em algumas situações, as diversas rupturas de deslizamentos tornaram-se um único polígono de deslizamento ou fluxo de detritos (corrida de massa). Salienta-se que, devido ao fato do mapeamento ter sido exclusivamente produzido em gabinete, não foi possível determinar os diferentes tipos de processos hidrogeomorfológicos em campo, conforme recomendado por Wilford *et al.*, (2004; 2005) e por Goerl *et al.*, (2012) e, portanto, assume-se o termo fluxo de detritos, que podem corresponder a diferentes processos de corridas de massa e mesmo de fluxos hiperconcentrados (Hungre *et al.*, 2001; Pierson, 2005) ou enxurradas de detritos (*debris floods*) (Church, 2010; Church & Jakob, 2020).

14. As regiões mais atingidas por movimentos de massa foram registradas provavelmente em localidades com maiores suscetibilidades, onde o evento hidrometeorológico ocorreu de forma mais intensa, abrangendo as Macro unidades do Relevo do Planalto das Araucárias, em especial envolvendo as áreas de escarpas e vales encaixados da borda do planalto, e os patamares da Borda Oriental da Bacia do Rio Paraná onde os vales encaixados se projetam para regiões com amplitudes topográficas mais baixas (Figura 9).

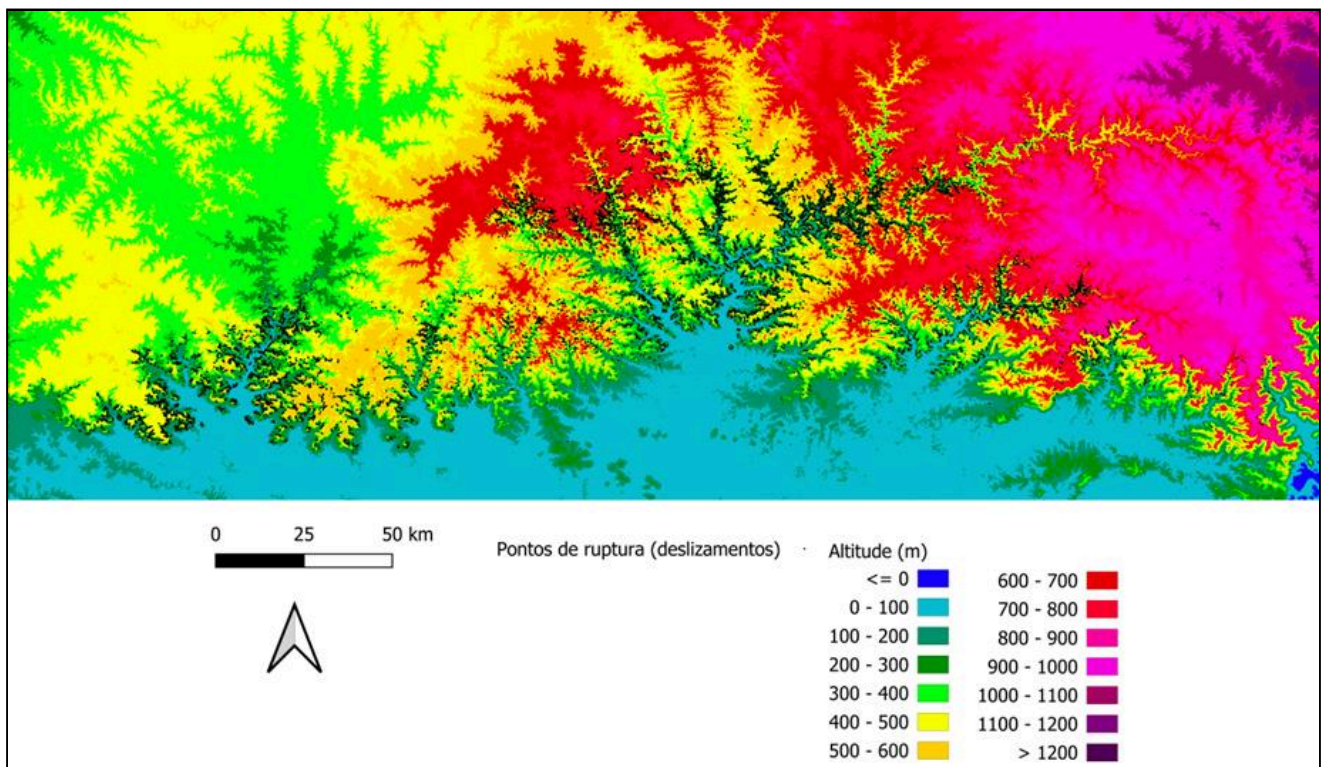


Figura 9. Distribuição dos pontos de ruptura (deslizamentos) pela altitude no centro-norte do estado do Rio Grande do Sul.

15. As áreas afetadas localizam-se no domínio geológico de rochas magmáticas da Formação Serra Geral (Bacia Sedimentar do Paraná) constituídas por rochas vulcânicas e sedimentares, destacando-se os basaltos abaixo da cota 500 metros e riolacitos acima desta cota, segundo o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM). Embora haja predominância de rochas vulcânicas, a estratigrafia da região envolve intercalações de rochas areníticas da Formação Botucatu e Pirambóia, que afloram de forma dominante abaixo da cota de 200 metros. Embora na porção sul da Bacia do Baixo Jacuí aflorem rochas granitoides e metamórficas polideformadas mais antigas do cinturão orogenético Dom Feliciano, as cicatrizes identificadas de deslizamentos ocorreram na sua maioria no domínio das rochas vulcano-sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná.

16. Feições de movimentos de massa foram identificadas em 130 municípios do Rio Grande do Sul (Anexo 3), com variados graus de atingimento (Figuras 10 a 14). A principal área afetada está nos municípios de Bento Gonçalves, Cotiporã e Veranópolis, onde aproximadamente 3% do território foi atingido por esses processos. Outro centro significativo de atingimento foi encontrado em Silveira Martins e São João do Polêsine, onde cerca de 2% da área municipal foi afetada por movimentos de massa (Figura 13).

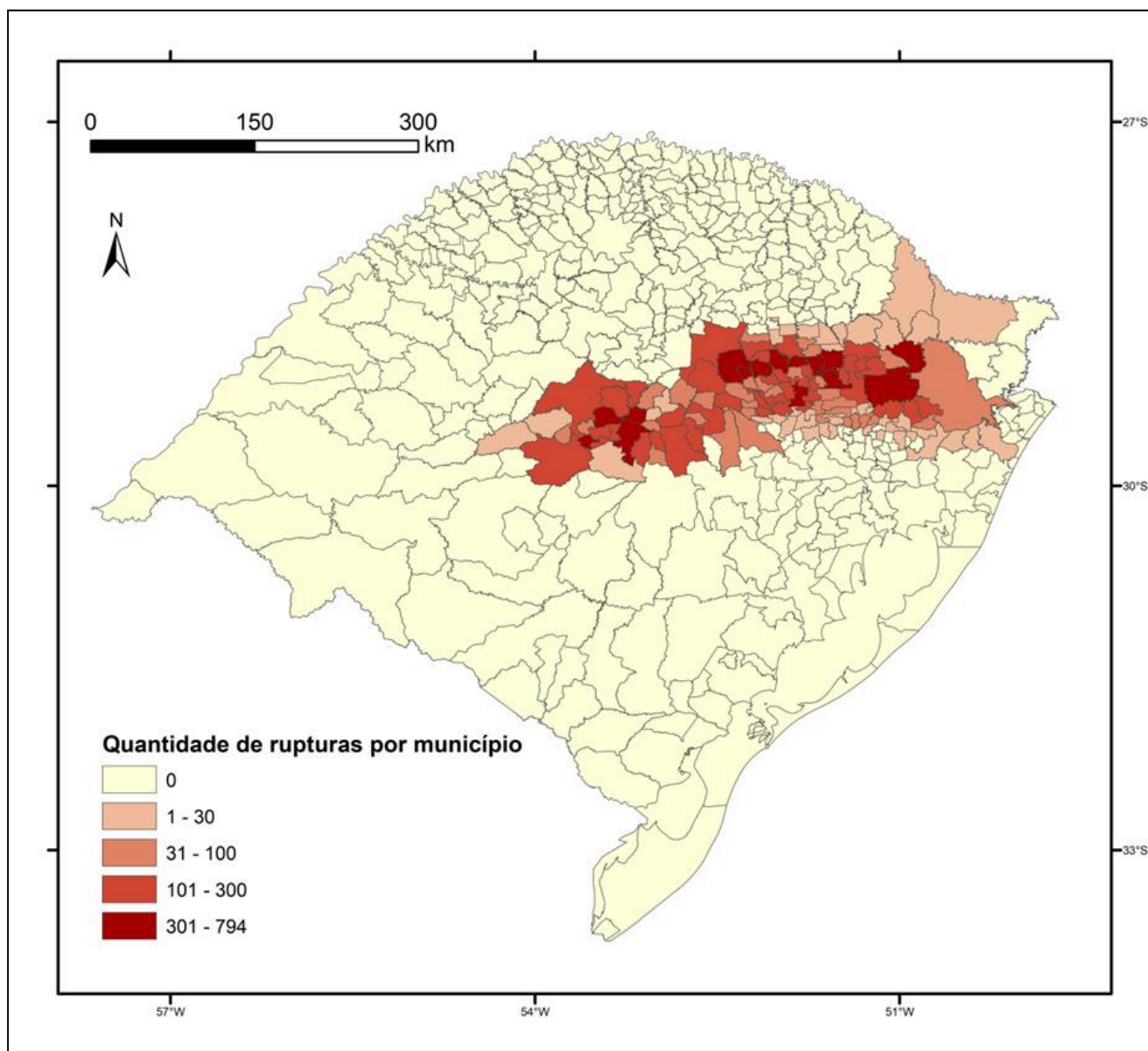


Figura 10. Quantidade de rupturas de deslizamento (pontos) por municípios.

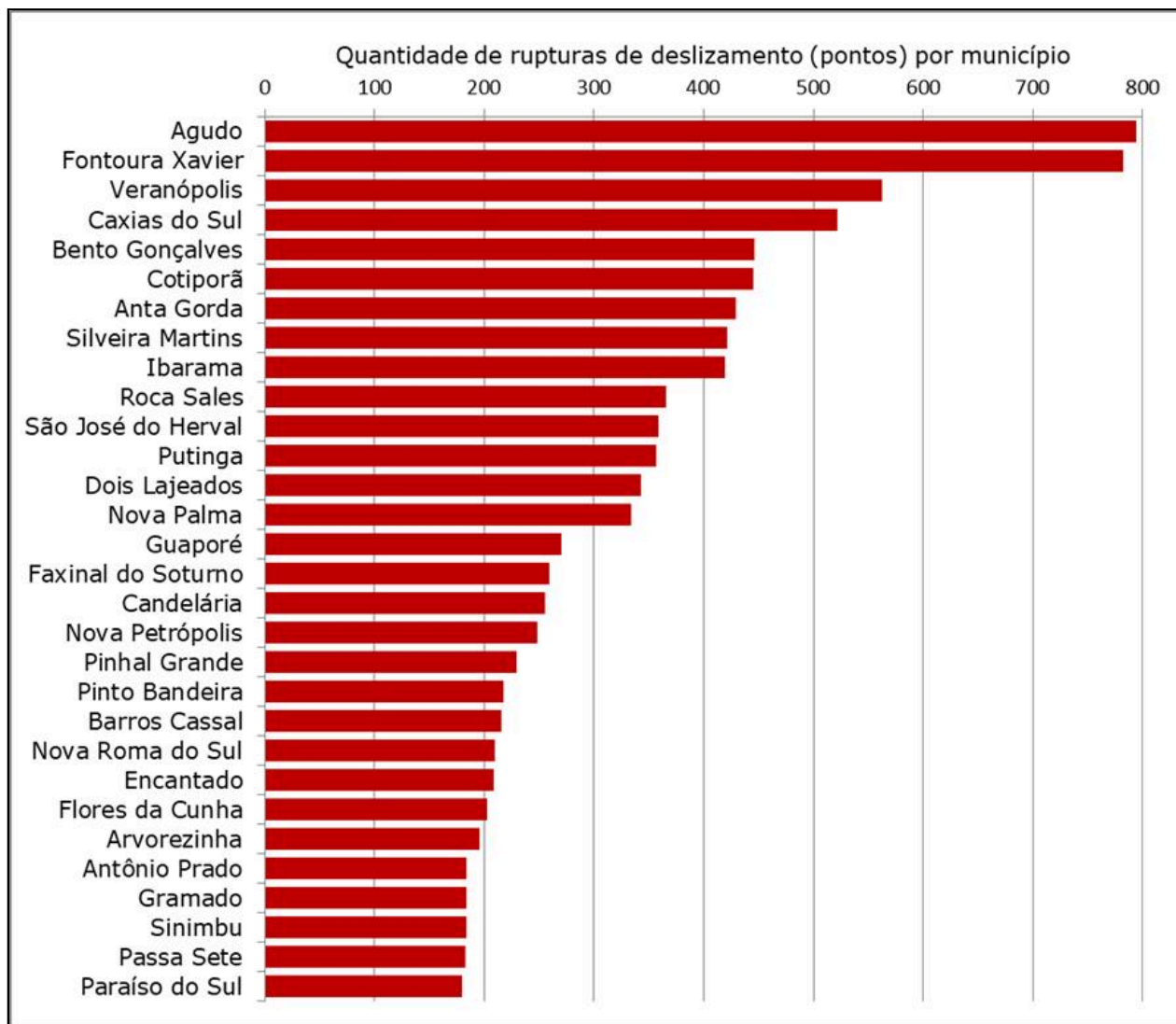


Figura 11. Ranking dos 30 primeiros municípios com maior quantidade de rupturas de deslizamento (pontos).

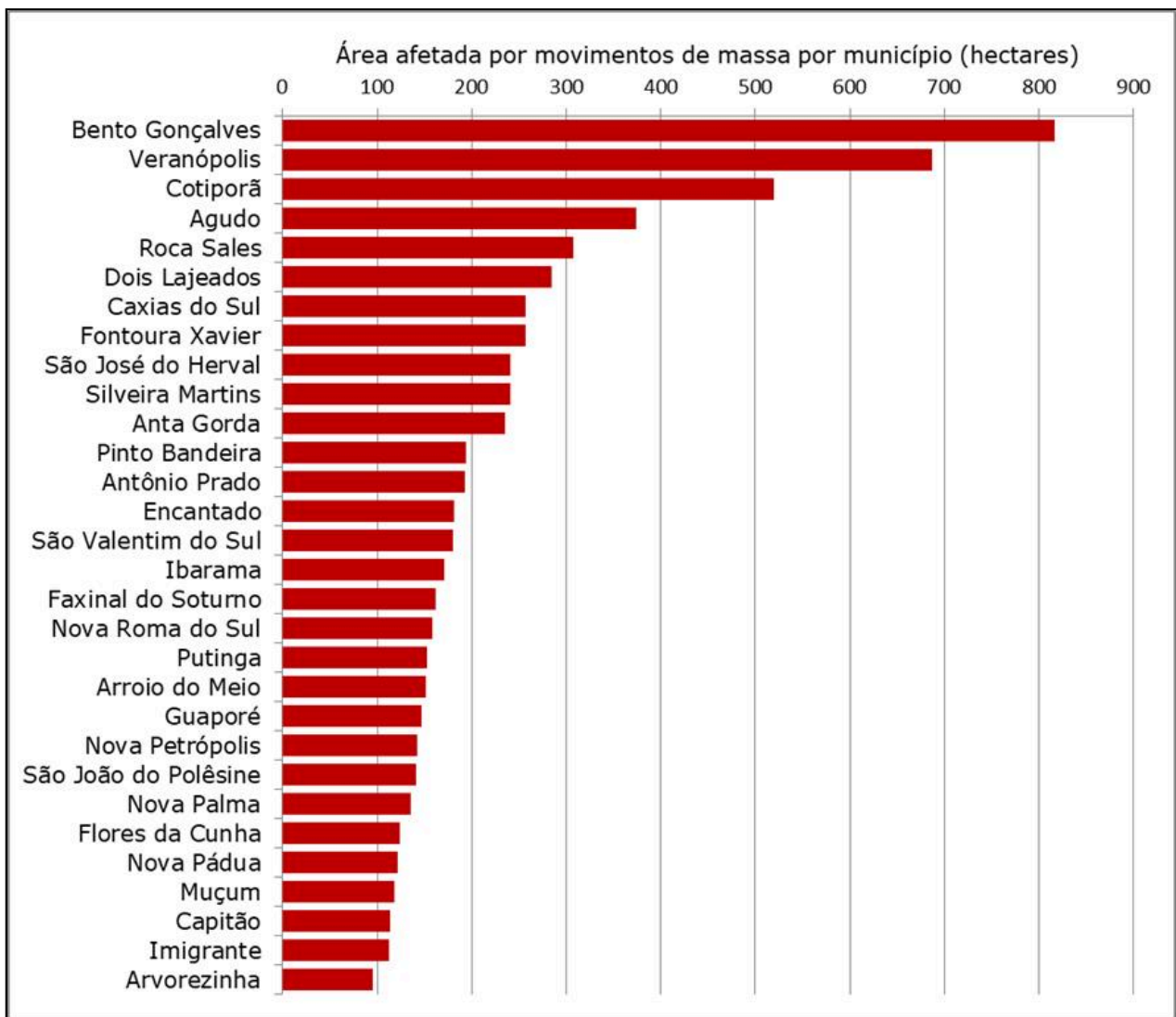


Figura 12. Ranking dos 30 primeiros municípios com maior área afetada por movimentos de massa (hectares).

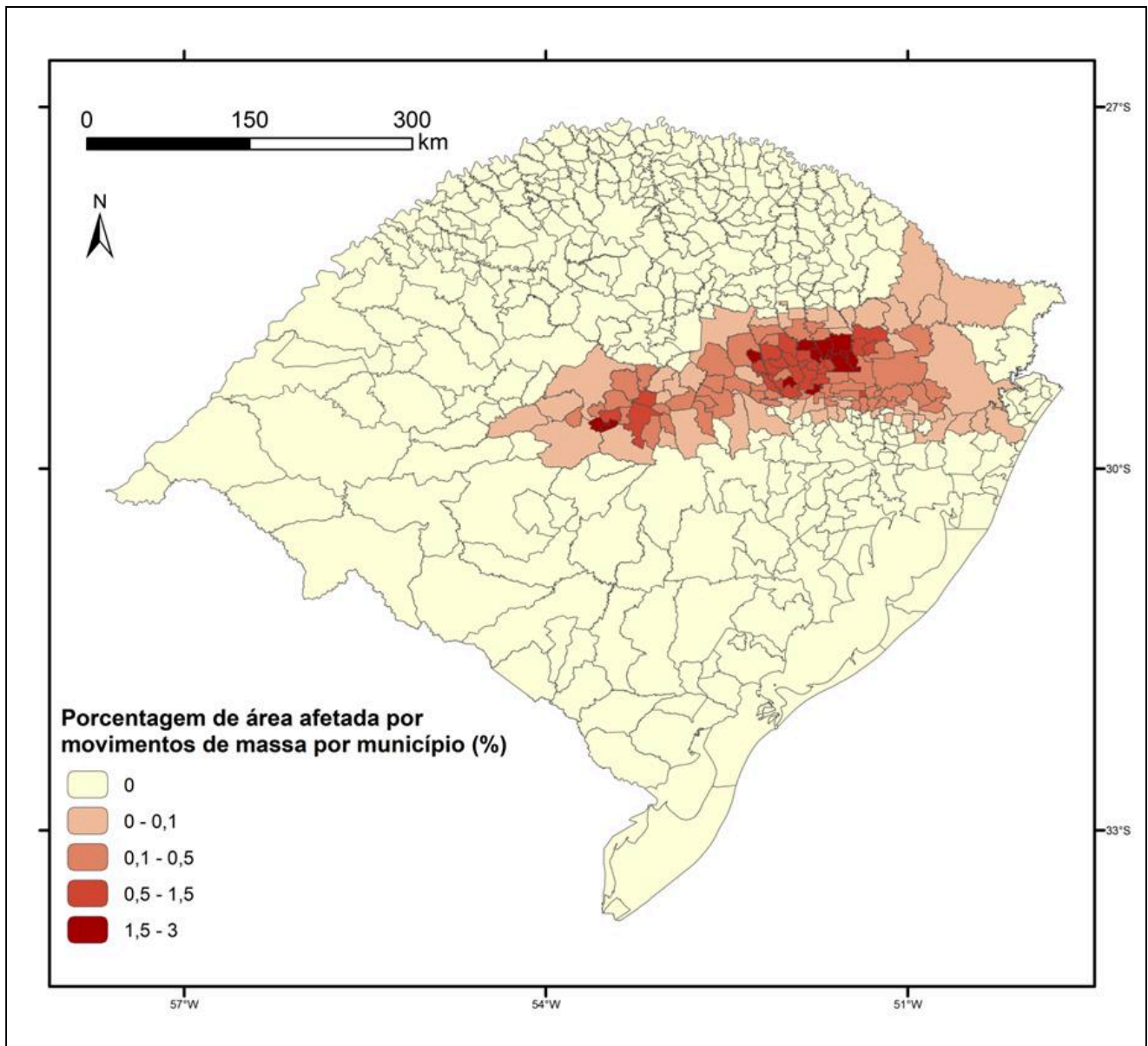


Figura 13. Porcentagem de área afetada por movimentos de massa por municípios.

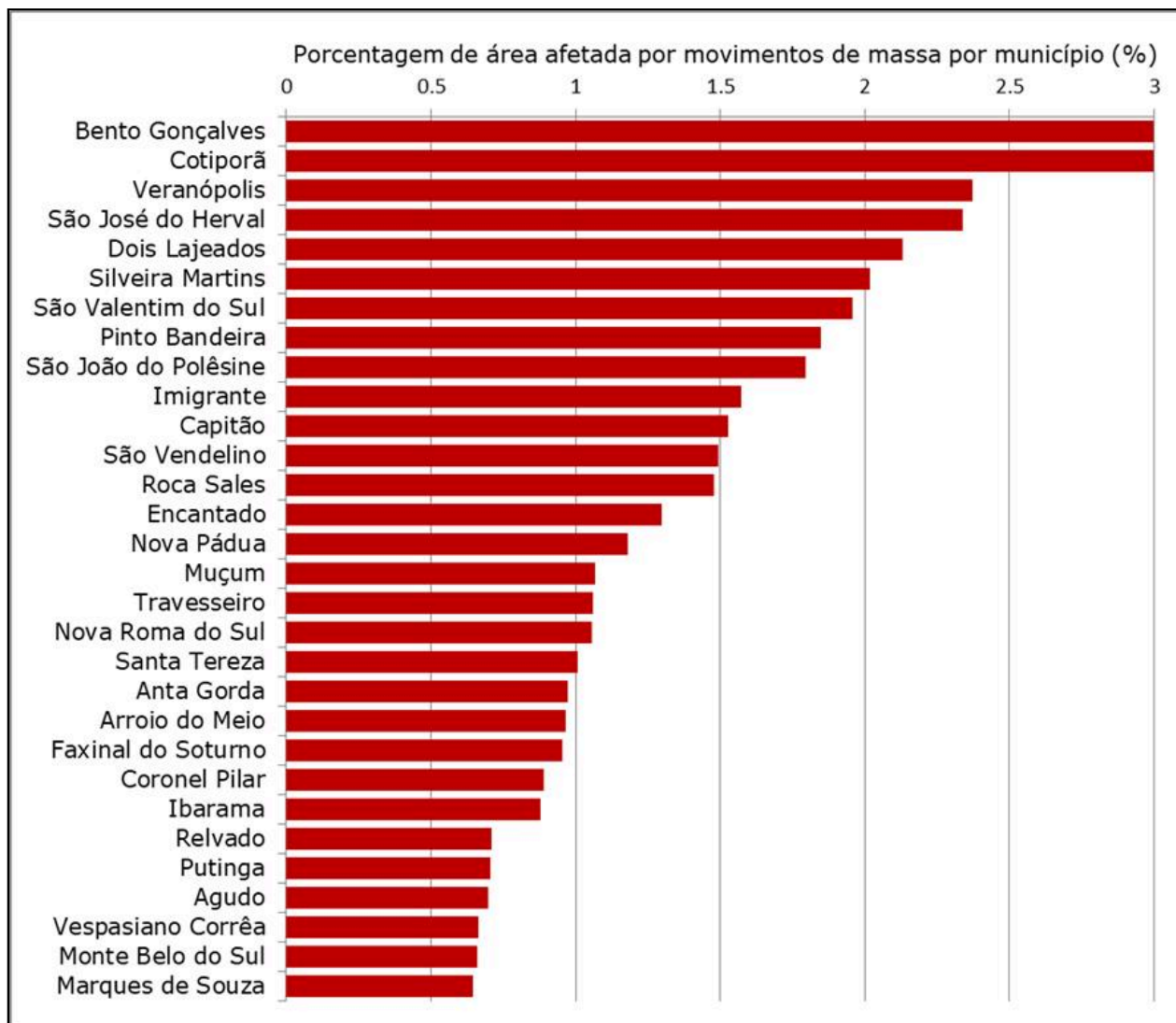


Figura 14. Ranking dos 30 primeiros municípios com maior porcentagem de área afetada por movimentos de massa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

17. Considerando que o CEMADEN/MCTI é a instituição federal com a missão de monitorar e emitir alertas, em nível nacional, de eventos de inundações, enxurradas, alagamentos e movimentos de massa, ressalta-se que os mapeamentos são fundamentais para atualização contínua dos bancos de dados de impactos de movimentos de massa e de riscos hidrológicos, estes também essenciais para subsidiar pesquisas para o entendimento dos mecanismos deflagradores e, conseqüentemente, para avanços na previsão de riscos e emissão de alertas de riscos de desastres.

18. Ressalta-se ainda que, no escopo dos mapeamentos de cicatrizes, considera-se essencial realizar trabalhos de campo oportunamente, para a melhor caracterização das feições e processos de movimentos de massa, inclusive considerando o uso de drones e lidar.

19. Por fim, a partir da quantificação dos dados apresentados, considera-se que o desastre referenciado em termos de extensão, municípios afetados e quantidade de processos geodinâmicos, esteja entre os maiores eventos de movimentos de massa já ocorridos no Brasil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHURCH, M. Mountains and montane channels. In: BURT, T.; ALLISON, R. J. (eds.) *Sediment Cascades: An integrated approach*, 1ed., 2010.

CHURCH, M.; JAKOB, M. *What is a debris flood?* *Water Resources Research*, 56, 17p, 2020.

DOMINGUES, E. N. (2001). *Caracterização das feições erosivas e relações com o meio hidrobiológico em áreas impactadas da Serra do Mar, na região de Cubatão (SP)*. *Geociências*, v. 20, n. 1, p. 61-71

GOERL, R. F., KOBAYAMA, M., SANTOS, I. (2012). *Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 13, n. 2, p. 103-111

HUNGR, O. et al. *A review of the classification of landslides of the flow type*. *Environmental & Engineering Geoscience*, v. 7, n. 3, p. 221-238, 2001.

NAMIKAWA, L. M. et al. (2024). *“Metodologia da Produção do Mapa de Inundações e Movimentos de Massa do Desastre do RS em Maio de 2024”*. São José dos Campos: INPE, 2024. 36 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34T/4BHNCB>. (sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/06.27.14.21-NTC). Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/4BHNCB>. Acesso em: 3 jul. 2024.

Ministério da Justiça e Segurança Pública. (2023). Rede MAIS/MJSP. <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/>.

PIERSON, T. C. *Distinguishing between debris flows and floods from field evidence in small watersheds*. Vancouver (WA): United States Geological Survey (USGS), 2005.

STABILE, R. A.; COLÂNGELO, A. C. (2017). "Environmental controls on landslide size distribution in the Paraitinga River basin, SE Brazil". *Landslides*, v. 21, n. 2, p. 371-378.

WILFORD, D. J.; SAKALS, M. E.; INNES, J. L.; SIDLE, R.C.; BERGERUD, W. A. *Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics*. *Landslides*, n. 1, p. 61-66, 2004.

WILFORD, D. J.; SAKALS, M. E.; INNES, J. L. *Forest management on fans: hydrogeomorphic hazards and general prescriptions*. B. C. Min. For., Res. Br., Victoria, B. C. Land Management Handbook. n. 57, 2005, 42p. (<http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh57.htm>)

Elaborado por:

Danielle Silva de Paula

Demerval Aparecido Gonçalves

Elisabete Weber Reckziegel

Harideva Marturano Egas

João Paulo de Carvalho Araújo

Márcio Roberto Magalhães de Andrade

Rodrigo Augusto Stabile

Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Tulius Dias Nery

Revisado por:

Regina Célia dos Santos Alvalá



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Roberto Magalhães de Andrade, Pesquisador**, em 26/07/2024, às 15:25 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danielle Silva de Paula (E), Usuário Externo**, em 26/07/2024, às 15:27 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **tatiana sussel gonçalves mendes (E), Usuário Externo**, em 26/07/2024, às 15:30 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Harideva Marturano Egas, Tecnologista**, em 26/07/2024, às 15:33 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Demerval Aparecido Gonçalves (E), Usuário Externo**, em 26/07/2024, às 15:34 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Augusto Stabile, Tecnologista**, em 26/07/2024, às 15:37 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tulius Dias Nery, Tecnologista**, em 26/07/2024, às 15:40 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elisabete Weber Reckziegel, Tecnologista**, em 26/07/2024, às 16:18 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regina Célia dos Santos Alvalá, Diretor do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais substituto**, em 26/07/2024, às 16:42 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **12126603** e o código CRC **3DDB9B6B**.

Anexos:

- Anexo1: Tabela de polígonos de movimentos de massa com as coordenadas geográficas dos seus centróides, área em m² e hectares e número de pontos de rupturas por polígonos (WGS 84);
- Anexo 2: Tabela das coordenadas geográficas dos pontos de rupturas (WGS 84); e
- Anexo 3: Tabela dos municípios atingidos por movimentos de massa com quantidade de pontos de rupturas, quantidade de polígonos, área afetada (hectares) e porcentagem da área afetada em relação à área do município (WGS 84).