

Análise da Distribuição dos Eventos de Movimentação de Massa Ocorridos no Município de Bento Gonçalves/ RS

Mônica Alvarez Pires

Eng. geóloga geotécnica master, Vale, Nova Lima, Brasil, monica.pires@vale.com

Juliana Ester Martins Moura

Eng. civil geotécnica sênior, Vale, Nova Lima, Brasil, juliana.moura3@vale.com

Miessa Ferreira de Souza

Eng. civil geotécnica master, Vale, Nova Lima, Brasil, miessa.souza@vale.com

Inácio Diniz Carvalho

Geólogo geotécnico/Gerente Laboratório Geotecnia, Vale, Nova Lima, Brasil, inacio.carvalho@vale.com

RESUMO: Movimentos de massa rápidos (corridas/fluxos) representam uma grande ameaça aos seres humanos, ao meio ambiente e a infraestruturas, pois além de ocorrerem repentinamente, possuem elevada energia, percorrendo longas distâncias e podendo atingir extensas áreas. Estes fenômenos estão associados a precipitações elevadas em áreas montanhosas e são de difícil previsão. No dia 1º de maio de 2024, um volume de chuva de 432 mm acumulados ocorreu, provocando, no município de Bento Gonçalves no estado do Rio Grande do Sul, a ocorrência de diversos movimentos de massa do tipo fluxo de terra com detritos com dimensões de centenas de metros. A frequência e a intensidade crescentes de eventos de precipitação extrema como este, tem trazido um grande desafio para a gestão de riscos geotécnicos, demandando estudos, tecnologias e estratégias para a prevenção e resposta eficaz diante das emergências. O presente estudo identificou as áreas nos municípios de Bento Gonçalves e Pinto Bandeira que ocorreram os movimentos de massa rápidos e avaliou a sobreposição destas áreas com as superfícies topográficas anteriores aos movimentos, para distinguir locais mais predispostos a ocorrência destes movimentos e contribuir para a gestão deste tipo de risco geotécnico.

PALAVRAS-CHAVE: Movimentos de massa rápidos, Corridas de terra e detritos, Risco geológico, Carta geotécnica.

ABSTRACT: Rapid mass movements (landslides/flows) pose a significant threat to humans, the environment, and infrastructure, as they occur suddenly, possess high energy, travel long distances, and can affect extensive areas. These phenomena are associated with heavy rainfall in mountainous regions and are difficult to predict. On May 1, 2024, a total rainfall of 432 mm was recorded, causing various mass movements of debris flows with dimensions of hundreds of meters in the municipality of Bento Gonçalves in the state of Rio Grande do Sul. The increasing frequency and intensity of extreme precipitation events like this present a major challenge for geotechnical risk management, requiring studies, technologies and strategies for effective prevention and response to emergencies. This study identified the areas in the municipalities of Bento Gonçalves and Pinto Bandeira where rapid mass movements occurred and assessed the overlap of these areas with the original topographic surfaces to distinguish locations more predisposed to these events and to contribute to the management of this type of geotechnical risk.

KEYWORDS: Rapid mass movements, Landslides and debris flows, Geological risk, Geotechnical map.



1 INTRODUÇÃO

A gestão de riscos geológicos, geotécnicos e hidrológicos no território brasileiro teve início na década de 90, sendo nesta época implementada somente em grandes municípios, principalmente nas capitais dos estados brasileiros. A metodologia para o mapeamento e classificação do risco em níveis de criticidade foi desenvolvida no Instituto Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 1991 e vêm sendo aprimorada ao longo dos anos. No início do século XXI, um importante instrumento de planejamento foi implementado pelo Ministério das Cidades do Brasil, os Planos Municipais de Redução de Riscos (PMMR), que compreendem diagnóstico e proposição de ações e obras. Desde então, o conhecimento técnico e científico sobre riscos e desastres no Brasil vêm evoluindo muito.

De forma geral, as situações de risco advêm de ocupações de terrenos não apropriados, como áreas naturalmente propensas a inundações, por exemplo, os leitos maiores dos cursos de água ou de encostas íngremes associado à execução de estruturas de engenharia insuficientes ou inapropriadas. Este tipo de ocupação vem provocando tragédias, em geral localizadas, predominantemente em áreas urbanas. Muitas delas vêm sendo ao longo dos anos mitigadas com a capacitação da população que vive nestes locais, para perceberem os indícios da instabilidade antes que o evento ocorra e também, pela implantação de obras propostas nos PMRRs dos municípios.

Apesar da maior parte dos eventos destrutivos ocorrerem nas áreas urbanas dos municípios brasileiros, a excessiva precipitação pluviométrica que vem ocorrendo na década atual, vêm provocando eventos naturais, que apesar de esperados na dinâmica de formação do relevo do planeta Terra, trazem consequências catastróficas para o ser humano, mesmo em áreas com baixa densidade ocupacional, como áreas rurais. Um exemplo desta condição climática atual foi o que ocorreu entre 30 de abril e 06 de maio do ano de 2024 no estado do Rio Grande do Sul, no município de Bento Gonçalves. Um grande número de movimento de massas, muitos deles com dimensões quilométricas, ocorreram no município Bento Gonçalves e em municípios vizinhos a ele, provocando a perda de vidas humanas (15), centenas de desabrigados, a perda da maior parte dos acessos e redes de energia nas áreas rurais, a perda de extensas áreas de lavoura e de edificações de fazendas, além do grave dano ambiental para os rios nestas regiões.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo identificou os escorregamentos de massa ocorridos na área dos municípios Bento Gonçalves, Pinto Bandeira e em pequena porção sul do município Veranópolis, localizados na região serrana do estado do Rio Grande do Sul, utilizando imagem do Google Earth (03.2025) e classificou os eventos em 4 tipos: 1- corridas/fluxos; 2- escorregamentos na alta vertente; 3- escorregamentos nas médias vertentes; 4- escorregamentos na baixas vertentes. Em seguida, foram avaliados quais eventos do tipo corridas/fluxos ocorreram em vales, secos ou com drenagem.

As corridas/fluxos foram definidas considerando, qualitativamente, os seguintes parâmetros da cicatriz no terreno: forma (mais linear), extensão (muito grande) e alcance (na grande maioria dos casos, chegando ao curso de água principal da região). Em seguida, procedeu-se a avaliação de quais corridas/fluxos ocorreram em vales, utilizando as curvas de nível geradas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estas informações foram cartografadas e estão apresentadas nos apêndices do presente documento.

3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Geologicamente, a área de estudo está inserida no Grupo Serra Geral, Formação Palmas, fácies Caxias, que compreende rochas vulcânicas ácidas. A existência de estruturas semelhantes a caldeiras vulcânicas nestas rochas, leva alguns autores (Roisenberg, 1989; Garland et. al., 1995; Bryan et al., 2010 apud Weltzel, 2019) a sugerir que ocorreram fluxos piroclásticos e a formação de depósitos ignimbríticos e posteriormente, com o colapso da câmara magmática, a formação de domos de lava na superfície. A Formação Palmas é principalmente constituída por domos típicos circulares de rocha dacítica.

Roisenberg (1989) divide os depósitos vulcânicos da Formação Palmas em três zonas típicas (Figura 1):

- Zona Basal: vitrófiros e brechas de fluxo dispostos sem padrão definido e sem diaclasamento característico. São lentes irregulares com até 6 metros.
- Zona Central: granófiros com diaclasamento fino e tabular na base; porção intermediária, rocha mais maciça com fraturamento discreto a colunar. Constitui 70% da espessura da unidade, que pode alcançar 30 metros.
- Zona Superior: semelhante a litologia da zona basal, mas com presença de vesículas e amígdalas. Pode alcançar espessura de até 8 metros.

Além do depósito vulcânico em si, na região do estudo foram observados depósitos terciários, corpos de tálus, assentados junto a base da Zona Central, paredão rochoso subvertical. Estes tipos de depósitos possuem formato irregular e não são contínuos. Das observações feitas em campo, estes depósitos na região do estudo possuem grandes dimensões, inclusive espessura e, são formados por solo e blocos de rocha de dimensões variadas, inclusive blocos de dimensões decamétricas. Estão assentados sobre a rocha vulcânica da Zona Basal, para a qual, no momento, não foram encontradas informações quanto a espessura do solo residual (se pouco espesso ou não).

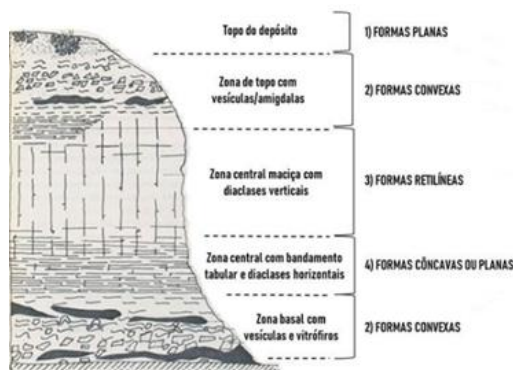


Figura 1. Modelo conceitual das litofácies do depósito ignimbrítico da Formação Palmas e formas de vertente correlatas, proposto por Roisenberg (1989).

4 ASPECTOS GEOMORFÓLOGICOS

O relevo da área do estudo é marcado por altitudes máximas em torno de 600-650 metros. Nas regiões montanhosas, as declividades variam entre as classes mediana (30-47%) e elevada (47-100%). No topo das vertentes (que correspondem ao topo dos depósitos vulcânicos) e no fundo dos vales dos cursos d'água principais, as declividades são baixas (<30%). No Apêndice I está apresentado o mapa de declividade gerado.

As declividades elevadas estão associadas a Zona Central do depósito vulcânico descrita no item anterior (Aspectos Geológicos), a qual é morfologicamente representada por paredões subverticalizados de rocha maciça. Esse cenário morfológico, ocasiona também grandes diferenças altimétricas e portanto, os vales escavados nas vertentes possuem declividades longitudinais elevadas em parte de sua extensão.

O perfil morfológico das vertentes da área do estudo é muito bem representado pela proposta feita por Roisenberg (1989), sendo entretanto necessário acrescentar que a vertente na região dos depósitos de tálus possui forma convexa e declividades elevadas, variando entre 44-66% (dados obtidos em campo).

5 CARACTERIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1991) propôs uma classificação para movimentos de massa no Brasil, a qual compreende rastejos, escorregamentos, quedas e corridas. Esta classificação define as características do movimento, dos materiais e a geometria e é utilizada pelo IPT, CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e Ministério das Cidades para o Mapeamento e Gerenciamento de Risco no Brasil.



O movimento de massa que ocorreu predominantemente nos municípios do estudo foi a corrida ou fluxo de terra com detritos. Corridas são movimentos rápidos, de grandes dimensões, com velocidades de metros por hora, ou até mesmo, metros por segundo. São altamente destrutivas e resultam da confluência de inúmeros escorregamentos e de um grande aporte de detritos nas linhas de drenagem.

Ocorrem, predominantemente, em vales, com ou sem drenagem perene ou intermitente e, independem de interferências humanas significativas no relevo. Surgem quando um grande volume de água infiltra no solo e este se transforma em uma massa semifluida, com comportamento semelhante ao de um líquido altamente viscoso (IPT, 1991), ocasionado pela perda de atrito interno do solo em virtude da destruição de sua estrutura devido ao excesso de água. Resumidamente, são eventos naturais que modificam o relevo local e estão basicamente relacionados à precipitação, característica geológica e inclinação do terreno.

O mapa apresentado no Apêndice II mostra os diversos pontos em que ocorreram movimentos de massa nos municípios de Bento Gonçalves, Pinto Bandeira e na porção avaliada do município Veranópolis. Do total de 338 eventos identificados na imagem, 182 (54% do total de eventos) foram classificados como corridas/fluxo de terra com detritos e deste total, 127 (70% do total das corridas/fluxos) foram associadas a concavidades no relevo que configuravam vales, mesmo que de pequenas dimensões.

Outros movimentos de massa também ocorreram na área do estudo, mas em menor quantidade e, não serão abordados em detalhe neste estudo. São eles:

1. escorregamento nas altas vertentes (Zona de Topo) – geralmente ocorreram fora de vales;
2. escorregamentos nas médias vertentes (Zona Intermediária) – geralmente ocorreram fora de vales;
3. escorregamento nas baixas vertentes (Zona de Basal) – geralmente ocorreram no nível base do curso de água principal e fora de vales.

No primeiro caso, os escorregamentos ocorreram tanto em vertentes convexas quanto planas e geralmente não ocasionaram o deslocamento de grandes volumes de material. Envolveram o solo residual das rochas da Zona de Topo, muitas vezes com blocos de rocha da Zona Central. No segundo caso, ocorreram escorregamentos com processos mais rápidos ou outros lentos, este último caso, similares a um rastejo de solo semifluidificado. Os volumes deslocados foram grandes e compreenderam, os depósitos de tálus e o solo residual subjacente da rocha vulcânica. No terceiro caso, envolveram o solo residual das rochas da Zona Basal, sendo que muitos eventos foram potencializados por solapamento devido a subida do nível dos cursos d'água.

Os movimentos de massa de maiores proporções ocorridos em maio do ano de 2024 na área de estudo, tiveram rupturas ao longo da superfície de contato solo residual ou corpo de tálus com a rocha vulcânica sã, visto que, na maior parte dos casos, em campo foi observada a exumação do maciço rochoso.

Os fatores que contribuíram para a ocorrência dos movimentos de massa na área do estudo foram basicamente:

- precipitação pluviométrica excepcional;
- relevo bastante movimentado e marcado por declividades medianas a elevadas, o que por si só predispõe o terreno a movimentos de massa;
- vales encaixados e com elevada declividade longitudinal, nos quais naturalmente se concentram volumes maiores de água;
- pequena espessura do solo residual (topo rochoso pouco profundo), o que facilita a saturação e fluidificação da camada de solo, somado ao fato de que a superfície de contato com o maciço rochoso representa uma superfície frágil devido a baixa permeabilidade ou impermeabilidade da rocha;
- depósitos espessos de tálus, naturalmente mais porosos e menos consolidados que os solos gerados in situ (residuais), para os quais a superfície de contato com a litologia sobrejacente representa uma superfície frágil.

Os quatro primeiros fatores foram os propulsores dos eventos de corrida/fluxo de terra com detritos e nos permite iniciar uma discussão sobre a cartografia geotécnica para a prevenção do risco relacionado a movimentos de massa rápidos.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia geotécnica é ferramenta fundamental para avaliar a susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa e consequentemente, os riscos para as ocupações humanas, bem como, para orientar futuras ocupações.

Robin et al. (2008) cita que a construção de um mapa de susceptibilidade a escorregamentos deve se basear em dois pressupostos:

- O passado é um guia para o futuro, então áreas que tiveram escorregamentos no passado, provavelmente poderão ter escorregamentos no futuro.
- Áreas com topografia, geologia e geomorfologia similares as que tiveram escorregamentos no passado, também são áreas prováveis para escorregamentos no futuro.

No caso dos movimentos de massa do tipo corrida/fluxo de materiais diversos, as regiões mais susceptíveis a estes eventos correspondem aos vales secos ou com drenagem (perene ou intermitente), ou seja, nas concavidades do relevo por onde o fluxo de água escoar nos períodos chuvosos. Desta forma, é imprescindível cartografar detalhadamente o município, informar a população que se encontra nestas regiões, elaborar plano de contingência associado a dados pluviométricos e, em casos específicos, planejar o remanejamento definitivo da população que ocupa locais de alto risco.

Movimentos de massa rápidos são difíceis de serem previstos e é um campo de estudo que ainda demanda muita pesquisa. Assim, considerando os eventos climáticos extremos que vem atingindo o Brasil é muito importante que se fomentem pesquisas nesta área.

O estudo teve um caráter inicial e utilizou abordagem qualitativa, valor fundamental para calibrações quantitativas. Como estudos futuros, sugere-se automatização do processo cartográfico e quantificação das variáveis envolvidas nas análises.

AGRADECIMENTOS

A Vale, por ter nos dado a oportunidade de contribuir para o município de Bento Gonçalves. A Tainá, pelo apoio no tratamento dos dados do estudo. E em especial, a população de Bento Gonçalves, pelo carinho diário com as equipes que lá atuaram.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

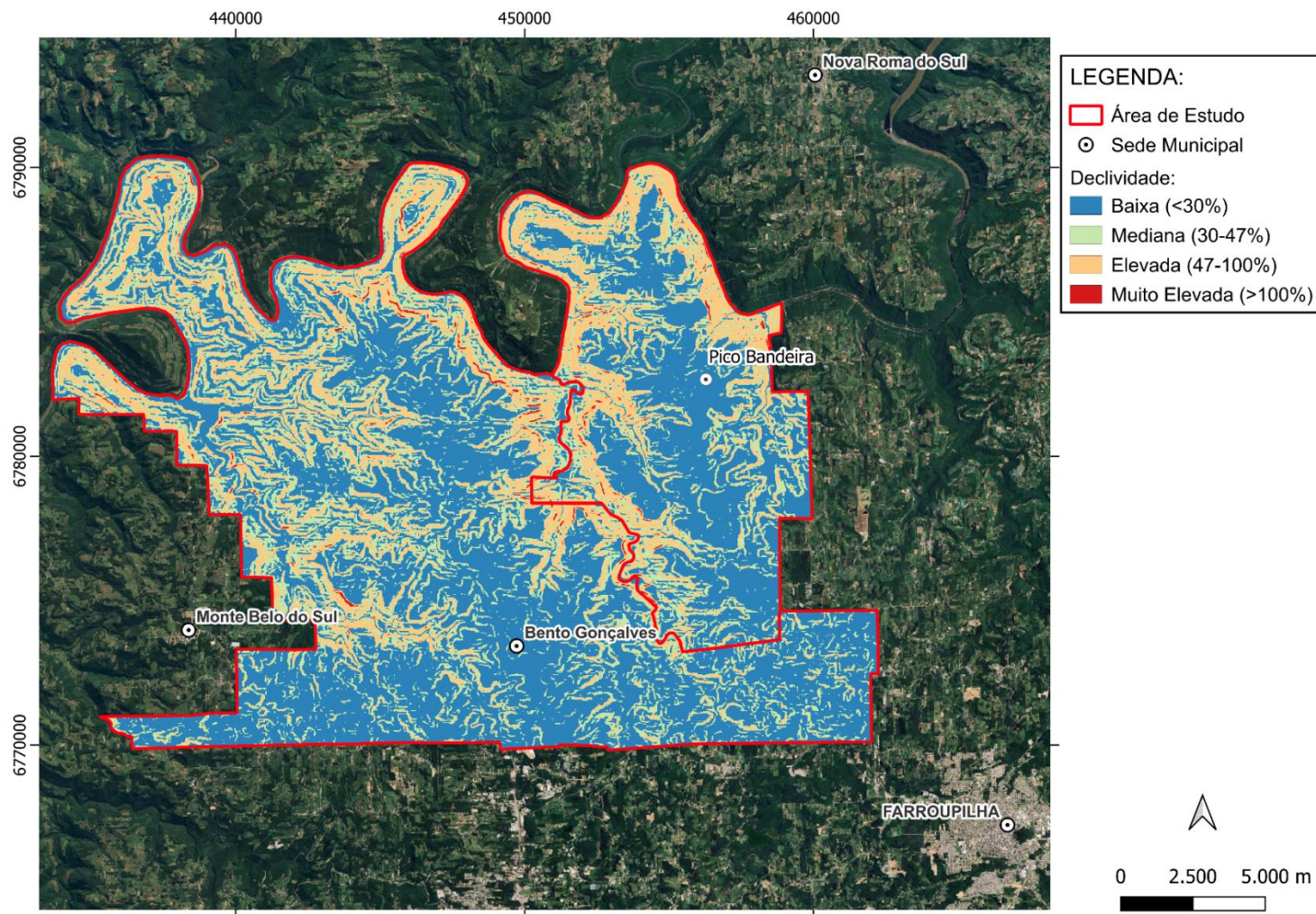
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1991) *Ocupação de Encostas – Manual*. São Paulo.

Robin F., Jordi C., Christophe B., Leonardo, C., Eric L., Willian, Z. S. (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, v. 102. p. 85-90.

Roisenberg, A. (1989) *Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná*. Tese de doutorado, Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 285 p.

Weltzel, R. S. (2019) *Mapeamento geotécnico preliminar de uma área urbana de Bento Gonçalves, RS*. Dissertação de Mestrado, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 109 p.

APÊNDICE I – Declividade do terreno



APÊNDICE II – Movimentos de massa

