

Análise geotécnica de deslizamento ocorrido em 2024 no km 287 da BR-386/RS.

Brenda de França Santoro

Engenheira Civil, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, brenda.santoro@sondotecnica.com.br

Érica Pereira Affonso Guedes

Engenheira Geotécnica, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, erica.guedes@sondotecnica.com.br

Tamara Rezende do Couto

Engenheira Civil, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, tamara.couto@sondotecnica.com.br

Lucas de Araujo Estanqueiro

Engenheiro Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, lucasestanqueiro@gmail.com

Karen Souza Ferreira

Engenheira Geotécnica, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, karen.ferreira@sondotecnica.com.br

RESUMO: O pior desastre climático da história do Rio Grande do Sul ocorreu entre o final de abril e o início de maio de 2024, resultando em enchentes e movimentos de massa em encostas devido ao elevado índice pluviométrico registrado. Este estudo aborda um dos sinistros ocorridos no km 287 da BR-386/RS, entre os municípios de São José do Herval e Pouso Novo, caracterizado por um deslizamento de terra à montante da rodovia. O evento consistiu na movimentação de uma camada de material de primeira e segunda categoria sobre um maciço mais íntegro, em uma região de relevo acidentado (serra), inserida em um contexto geológico dominado por rochas de origem magmática extrusiva. O trabalho tem como objetivo compreender o perfil geológico-geotécnico local, com base em sondagens realizadas antes e após o evento, definir os parâmetros de resistência da camada sobrejacente ao maciço rochoso por meio de retroanálise e analisar a elevação do nível d'água para simular as condições de saturação à época do sinistro.

PALAVRAS-CHAVE: Desastre climático; Rio Grande do Sul; Instabilidade de encostas; Interpretação geológico-geotécnica.

ABSTRACT: The most severe climate disaster in the history of Rio Grande do Sul occurred between late April and early May 2024, resulting in flooding and mass movements on hillslopes due to exceptionally high rainfall. This study focuses on one such event at km 287 of the BR-386/RS highway, between the municipalities of São José do Herval and Pouso Novo, characterized by a landslide originating upslope of the roadway. The event involved the movement of a layer of first and second-class material over a more intact bedrock in a mountainous region with rugged terrain, within a geological context dominated by extrusive igneous rocks. The objective of this study is to understand the local geological-geotechnical profile based on borehole data obtained before and after the event, to define the shear strength parameters of the layer overlying the rock mass through back-analysis, and to evaluate the rise in the groundwater level in order to simulate the saturation conditions present at the time of the failure.

KEYWORDS: Climate disaster; Rio Grande do Sul; Hillslope instability; Geological-geotechnical interpretation.

1 INTRODUÇÃO

A análise da estabilidade de taludes em solos e rochas alteradas constitui uma etapa obrigatória em projetos geotécnicos que envolvem intervenções em encostas naturais, de acordo com a ABNT NBR 11682 (2009). No contexto de projetos rodoviários, ou obras lineares de mesma natureza — como o abordado neste estudo —, a ocorrência de instabilidades não está associada apenas a ações antrópicas, mas também a fatores



2025

ambientais, especialmente os de natureza física, como a ação de precipitações intensas, que contribui de forma significativa para os processos de movimentação de massa. Estes eventos pluviométricos intensificam a infiltração de água nos taludes, seja por escoamento superficial decorrente de sistemas de drenagem ineficientes, seja pela percolação em profundidade através de fraturas no embasamento rochoso. Essa infiltração altera as tensões intersticiais e reduz a coesão entre os grãos do solo, comprometendo a estabilidade do maciço e favorecendo o desencadeamento de movimentos de massa, como escorregamentos, que representam riscos elevados contra vidas humanas e danos materiais, especialmente em regiões montanhosas. Em situações críticas, estes eventos podem exigir intervenções em escala governamental (Gerscovich, 2012).

Além dos efeitos do intemperismo físico, os processos de alteração química que promovem a transformação progressiva da rocha em solo residual também desempenham papel importante na redução da resistência ao cisalhamento dos materiais. Essa condição é particularmente crítica na interface entre o solo alterado e a rocha sã, onde descontinuidades naturais funcionam como superfícies preferenciais para a ruptura, intensificando a instabilização.

A compreensão destes aspectos é necessária para a avaliação dos riscos associados às encostas interceptadas por rodovias em áreas de relevo acidentado, especialmente sob a ocorrência de eventos climáticos de alta magnitude. Em muitos casos, a prevenção das movimentações de massa torna-se inviável, exigindo a adoção de medidas de mitigação voltadas à redução dos impactos ambientais e, sobretudo, à preservação da segurança das pessoas que transitam pela rodovia nessas circunstâncias.

O presente estudo tem como objetivo avaliar as condições geológico-geotécnicas de um trecho da rodovia BR-386/RS em área de serra afetada por deslizamento de solo sobre maciço rochoso após intenso regime de chuva. A partir da análise de dados topográficos e de sondagens rotativas e à percussão realizadas antes e após o evento, buscou-se compreender as camadas do terreno, identificar os mecanismos de ruptura envolvidos e avaliar a influência da água no processo de deslizamento.

2 METODOLOGIA

A metodologia consistiu na análise de dados *in situ* e de laboratório, provenientes de investigações geotécnicas e levantamentos topográficos realizados no local afetado por deslizamentos, nas proximidades do km 287, trecho serrano da BR-386/RS. Inicialmente, foram organizados os dados do levantamento topográfico realizado no local, em paralelo com a análise das informações das sondagens mistas e à percussão executadas nas fases pré e pós-evento, além de análise tátil-visual da superfície de ruptura em campo, após o sinistro, permitindo a reconstrução do perfil estratigráfico da área. A partir desses dados, foi possível caracterizar as camadas de solo e rocha, avaliar o grau de intemperismo, espessuras dos horizontes, presença de descontinuidades e transição solo-rocha. A análise comparativa entre os dados das sondagens pré e pós-sinistro permitiu identificar deslocamentos de camadas e as evidências diretas da movimentação de terra ocorrida.

Além disso, foram avaliadas as condições hidrológicas locais, com base na posição dos níveis d'água identificados nas sondagens, assim como dados provenientes de estações pluviométricas próximas aos deslizamentos e operantes nas datas do regime de chuvas. A atuação da água foi analisada como fator crítico no processo de movimentação, considerando seu papel no aumento da tensão intersticial, na perda de resistência ao cisalhamento do solo e na possível lubrificação de interfaces naturais de deslizamento.

Os dados foram representados em seções geológico-geotécnicas interpretadas com base na geometria da rodovia, considerando as condições pré e pós-sinistro, utilizando o software *AutoCad Civil 3D*, permitindo a visualização do arranjo do terreno. Com base nessas interpretações, elaborou-se um modelo no software *Slope/W*, do pacote *GeoStudio 2024*, onde foi simulada a variação do nível d'água até a identificação da superfície crítica de ruptura associada a um fator de segurança (FS) imediatamente inferior a 1,0.

3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

A caracterização geológica do trecho indica que os solos investigados têm origem no período Cretáceo, que foi marcado por intensos eventos tectônicos e vulcânicos que exerceram influência na configuração geológica atual do território brasileiro, especialmente na região Sul. A magnitude desses eventos produziu volumes de derrames vulcânicos sem precedentes na história geológica conhecida e, particularmente nos



2 0 2 5

estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, afloram extensas unidades de rochas basálticas derivadas desses eventos magmáticos (Leinz, 1949).

O trecho da rodovia em estudo atravessa a Formação Serra Geral, composta predominantemente por derrames basálticos, além de riolitos e riolitos, com intercalações pontuais de arenitos intertrápicos da Formação Botucatu. As condições locais de deposição na parte afetada pelos deslizamentos indicam sua inserção na Fácies Caxias (*Klacx*), caracterizada pela ocorrência de derrames vulcânicos de composição intermediária a ácida, com predominância de riolitos a riolitos mesocráticos, frequentemente associados a dobras de fluxo e autobrechas. Essas características litológicas foram observadas em diversos testemunhos e descrições obtidas por sondagens rotativas realizadas nos pontos de estudo.

4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

As sondagens realizadas nos taludes em datas anteriores ao evento climático de 2024 indicaram que na região predominava o perfil geotécnico típico de áreas com presença de solos residuais derivados do intemperismo de rochas vulcânicas, como os riolitos e os basaltos, em camadas de pequena espessura acima da rocha (neste trecho, a camada de solo variou de 2,0 a 3,20 m de espessura). Os solos são predominantemente compostos por argilas arenosas e argilas siltosas, geralmente de coloração marrom escura a amarelada. Esses materiais apresentaram baixos índices de resistência à penetração, com valores de N_{spt} inferiores a 6 golpes.

Abaixo da camada de solo residual, observou-se a ocorrência de rochas riolíticas afaníticas, variando entre tons marrom-avermelhados e cinza, com estrutura predominantemente maciça. Essas rochas apresentaram graus variados de alteração (de W6 a W4), fraturamento moderado a intenso (F3 a F5) e resistência de muito baixa a alta (R0 a R5). A qualidade da rocha, expressa pelo índice de recuperação (RQD), variou entre valores de 15% a 46%, evidenciando setores com fraturamento significativo. Em certos trechos do talude, há também a presença de basalto com características semelhantes. O nível d'água pré-evento não foi identificado nas sondagens, que chegaram a avançar até os 8 metros de profundidade.

5 EVENTO CLIMÁTICO – DADOS DE PRECIPITAÇÃO

O evento climático de intensas chuvas ocorridas no estado do Rio Grande do Sul nos meses de abril e maio de 2024 desencadeou uma série de acontecimentos como enchentes de rios, deslizamentos de terra em encostas naturais e inundações em áreas urbanas, mobilizando forças nacionais e internacionais em campanhas para lidar com os danos. Esses fenômenos resultaram em perda de vidas humanas, impactos significativos sobre a infraestrutura urbana, além do deslocamento de milhares de habitantes diretamente afetados pela ação intensa da água das chuvas.

De acordo com dados do Serviço Geológico Brasileiro (SGB) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidos a partir de estações pluviométricas localizadas em Soledade/RS — município atravessado pela BR-386/RS —, observa-se, conforme apresentado na Figura 1, um regime de chuvas crítico nos meses de abril e maio de 2024. Para fins de comparação, são também apresentados os valores médios mensais de precipitação ao longo de 56 anos, os quais evidenciam que, no período supracitado, os volumes registrados ultrapassaram em mais de três vezes a média histórica, com destaque para a estação A837, que acumulou mais de 700 mm. A comparação com a série histórica evidencia uma anomalia climática significativa, contribuindo diretamente para a instabilização de encostas e a ocorrência de deslizamentos ao longo da rodovia.

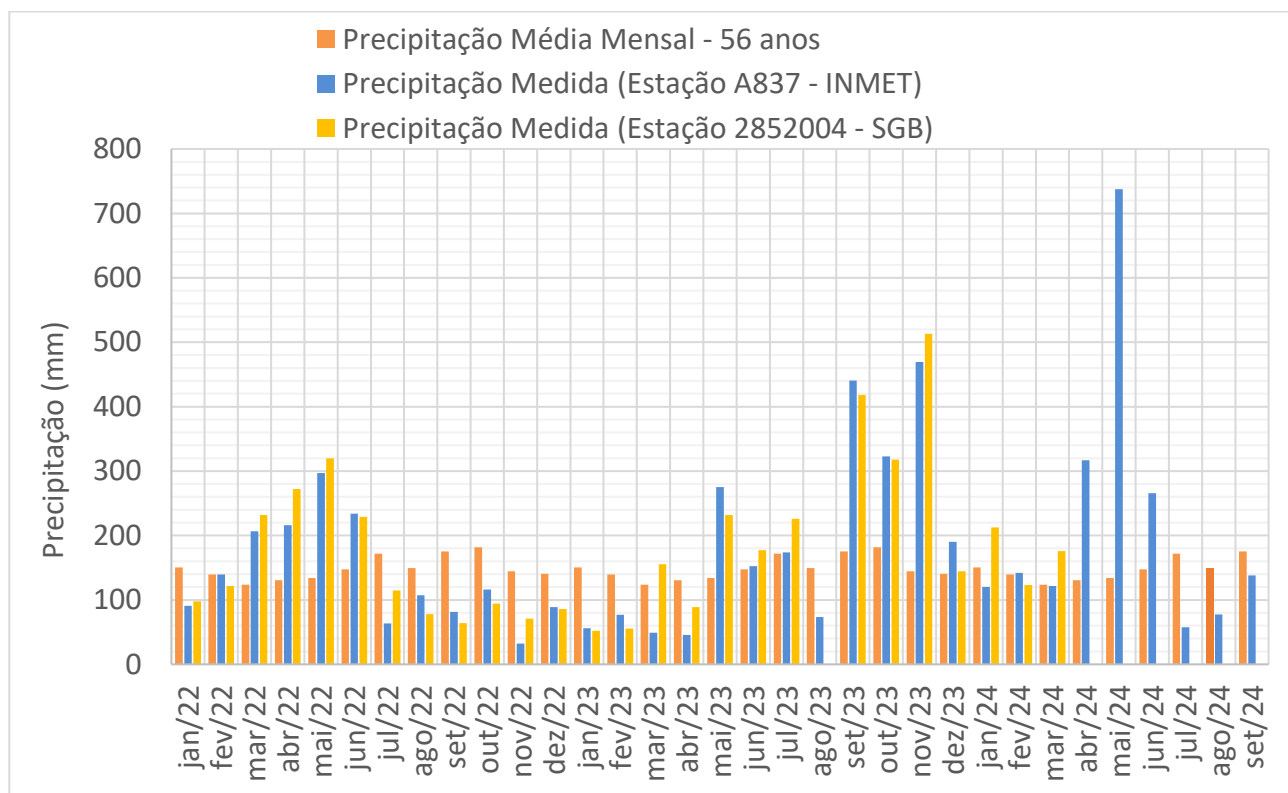


Figura 1. Dados pluviométricos. Fonte: INMET e SGB (2025).

6 EVENTOS DE DESLIZAMENTO DE TERRA

Ao longo da BR-386/RS foram identificados diversos pontos de movimentação de massa, tanto à jusante quanto à montante da seção transversal da rodovia, exigindo intervenções emergenciais para garantir a segurança e a continuidade da operação viária. O trecho mais afetado situa-se em área de serra, caracterizada por declividade acentuada e presença de solos mais evoluídos do ponto de vista pedológico, cuja susceptibilidade à instabilidade é acentuada em condições de saturação. Este estudo concentra-se no deslizamento destacado com um círculo amarelo na Figura 2, ocorrido nas proximidades do km 287. Ao longo de um segmento de aproximadamente 560 metros, aconteceram outros pontos de deslizamento à montante da plataforma da rodovia, que se assemelham com a natureza do ponto em foco.



Figura 2. Deslizamentos ocorridos em trecho da BR-386/RS vistos em planta.

Os movimentos de terra identificados ocorreram de forma a mobilizar as camadas de solo e material intemperizado descritos no item 5, com mecanismos de ruptura semelhantes entre si, evidenciando a capa rochosa intemperizada. Entende-se que os deslizamentos ocorreram em um período crítico de saturação do maciço, fortemente condicionado pelo elevado índice pluviométrico acumulado na região nos períodos descritos no item 6. Embora não tenham provocado danos estruturais à plataforma rodoviária neste ponto, parte do material escorregado atingiu a pista, exigindo que fosse removido pelas equipes operacionais para liberação do tráfego (Figura 3).



Figura 3. Imagem de drone dos dias 03/05/2024 e 09/07/2025. Fonte: Motiva (2024) e Engº Igor Ribeiro (2025).

A Figura 4 apresenta o perfil geológico-geotécnico interpretado, considerando a superfície de ruptura reinterpretada após os eventos de deslizamento (indicado pela linha vermelha), que teve início cerca de 35 metros acima do eixo da pista. Pode-se notar a capa de solo de N_{spt} variando de 4 a 6 sobreposto a uma camada de solo residual de riodacito que diminui seu grau de alteração e adquire resistência com a profundidade.

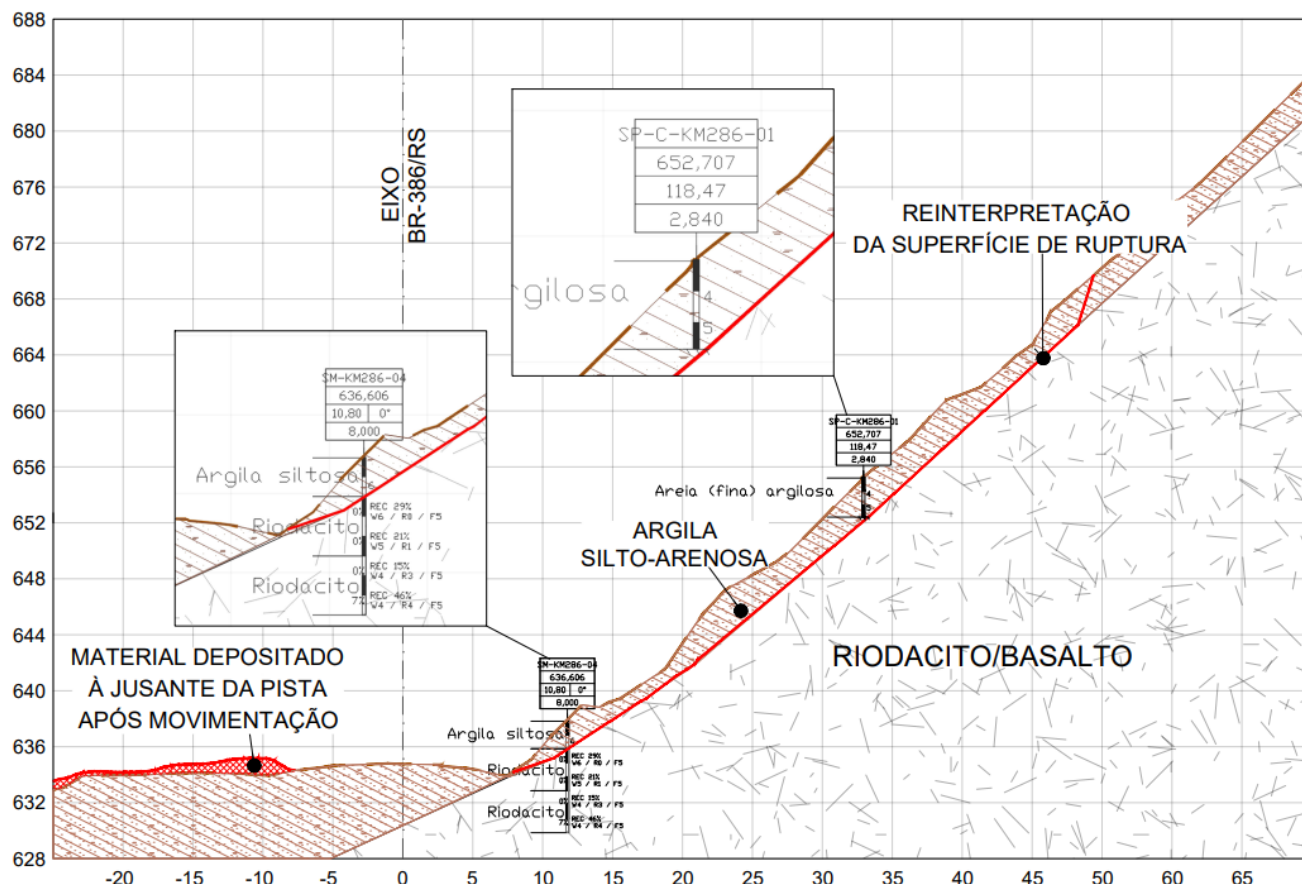


Figura 4. Perfil geológico-geotécnico interpretado para seção típica de escorregamento no deslizamento em estudo.

7 ANÁLISE

As análises geotécnicas desenvolvidas no *Slope/W* tiveram como objetivo identificar a superfície de ruptura crítica em uma seção típica da encosta, nas proximidades do deslizamento em questão, onde há a maior ocorrência de sondagens anteriores ao evento. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo residual foram obtidos por meio de ensaios de cisalhamento direto em blocos indeformados coletados na rodovia e utilizados nos projetos de duplicação da BR-386/RS em curso. Estes parâmetros foram validados por retroanálise para a seção em questão, obtendo-se portanto os valores de $c' = 10$ kpa e $\phi' = 25^\circ$.

A análise considerou superfícies de ruptura do tipo translacional ou planar, compatíveis com situações em que uma camada de solo pouco espessa e de menor resistência repousa sobre um substrato rochoso mais competente.

Em seguida, foi realizada uma análise paramétrica, variando-se o nível d'água na seção transversal, a fim de avaliar sua influência na condição de equilíbrio e determinar a condição crítica de estabilidade. Essa abordagem permitiu simular a elevação do lençol freático no período de alta precipitação registrada e estimar os fatores de segurança associados às possíveis superfícies de escorregamento.

A Figura 5 mostra a análise de estabilidade da encosta por equilíbrio-limite, utilizando a metodologia de Morgenstern e Price (1965), que é a mais rigorosa disponível no *software*. A entrada e saída foram definidas a partir das observações das imagens e verificações de campo e da hachura em planta fornecida pela topografia pós-desastre, que delimita a zona de movimentação, como pode ser observado na Figura 2.

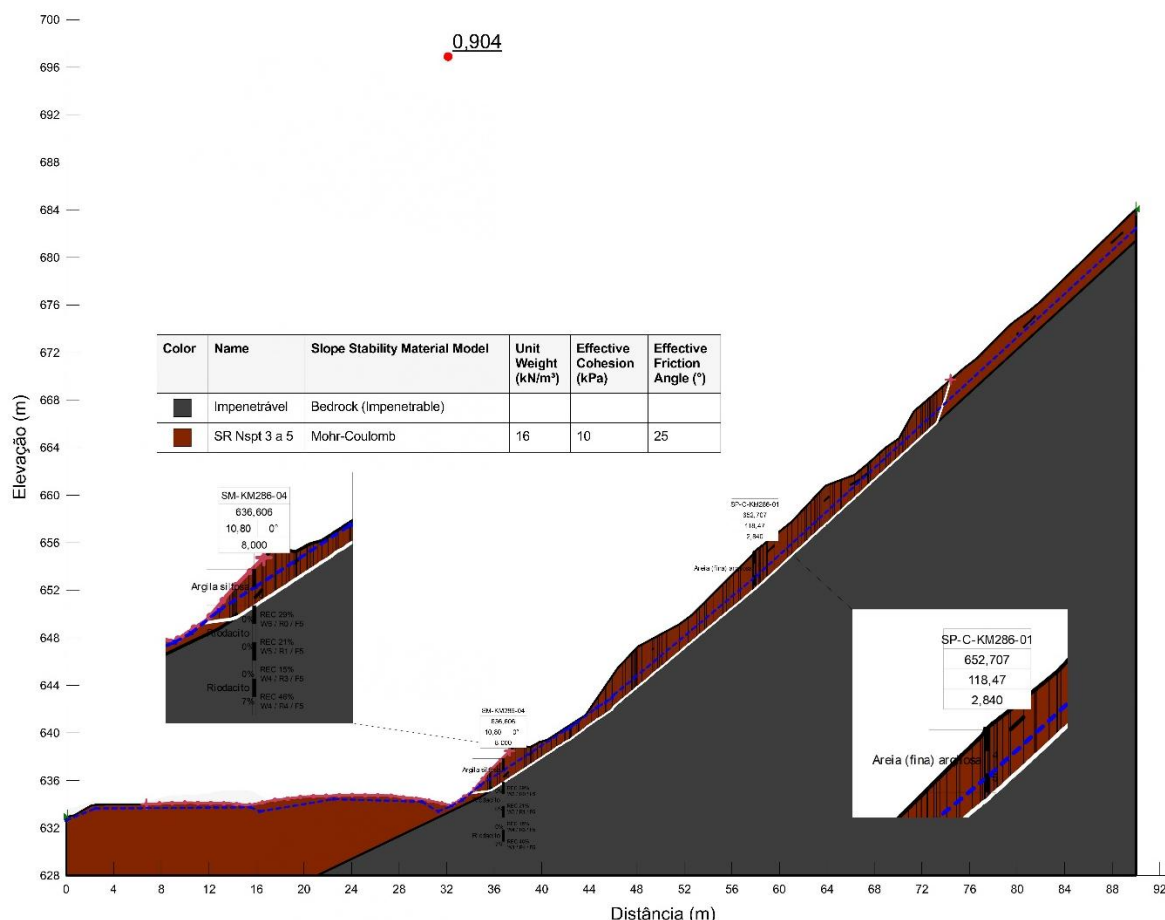


Figura 5. Análise de estabilidade no deslizamento destacado.

Verificou-se que a estabilidade do talude apresenta fator de segurança inferior a 1,0 — indicativo de ruptura — quando o nível d'água varia entre 0,5 m e 1,0 m acima do topo rochoso interpretado. Ressalta-se, contudo, que a análise adotou premissas simplificadas devido ao número limitado de investigações geotécnicas, dada a complexidade de acesso ao local e a emergencialidade imposta pelo evento, assumindo que a movimentação ocorreu apenas na camada de solo inconsolidado.

O volume de material mobilizado no ponto em análise foi estimado a partir da hachura da topografia pós-evento, considerando uma espessura média de 2,5 m, conforme dados de sondagem e observações *in situ*. A estimativa resultou em aproximadamente 2.500 m³ de material deslocado. Ressalta-se que o início da ruptura situa-se a cerca de 35 m acima da cota da pista. O perfil de elevação da encosta foi analisado por meio da topografia realizada para subsidiar o projeto de duplicação da rodovia em questão, indicando que a encosta possui aproximadamente 100 metros de altura.

É interessante mencionar que, verificando as imagens históricas anteriores ao evento de ruptura, notam-se indícios de vegetação com características distintas daquelas observadas nas áreas adjacentes não afetadas, ou até mesmo a ausência de cobertura vegetal. Tal padrão sugere a possível ocorrência de movimentações pré-existentes no local do deslizamento.

8 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo compreender os fatores condicionantes à instabilização de um talude na região do km 287 da BR-386/RS, impactada por eventos extremos de precipitação registrados em 2024. Inserido em contexto geológico marcado pela presença de rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, a encosta analisada apresenta camadas de solo residual cuja resistência está fortemente condicionada à presença de água.



A partir da análise das investigações geotécnicas disponíveis, aliadas à interpretação do comportamento geomorfológico local e aos resultados das análises de estabilidade por equilíbrio-limite, foi possível confirmar a influência significativa do nível de água na mobilização de massa. O aumento da poropressão, decorrente da saturação do terreno, leva à redução da tensão efetiva e, conseqüentemente, da resistência ao cisalhamento do solo – fator determinante para a ocorrência de rupturas superficiais observadas no trecho.

Por fim, a partir do estudo de caso analisado, pode-se concluir que, mesmo capas de solos residuais pouco espessas se comparadas à grandes alturas de encostas naturais, podem gerar riscos significativos à perda de vidas humanas e danos materiais, em casos de movimento de massa, principalmente em épocas de precipitações elevadas. Com isto, é de suma importância que haja programas de prevenção bem estruturados para monitoramento, manutenção e, quando necessário, intervenções preventivas nas encostas naturais das rodovias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.

Gerscovich, D.M.S. (2012) *Estabilidade de taludes*.

Instituto Nacional de Meteorologia (2024) INMET: *Mapa de estações*. Disponível em: <
<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2025.

Leinz, V. (1949) *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil*.

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras.

Motiva (2024) *Imagem de drone do dia 03/05/2024*. [fotografia].

Ribeiro, I (2025). *Imagem de drone do dia e 09/07/2025*. [fotografia].

Serviço Geológico do Brasil (2024) SGB: *Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN*. Disponível em:
<<https://www.sgb.gov.br/rede-hidrometeorologica-nacional-rhn>>. Acesso em: 10 ago. 2025.