XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/8

Análise Comparativa Preliminar de Solos Envolvidos em Deslizamentos na BR-470/RS

Erick Cobayashi da Silva Souza
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, erickcobayashi@ufpr.br

Maria Eduarda Bus
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, bus.maria@ufpr.br

Tainá Silva Sá Britto
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, tainabritto@ufpr.br

Vítor Pereira Faro
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

RESUMO: Os eventos pluviométricos extremos que atingiram o Rio Grande do Sul em maio de 2024 desencadearam diversos processos de instabilidade geotécnica, incluindo deslizamentos de taludes ao longo da BR-470. Este trabalho tem como objetivo caracterizar e comparar as propriedades físicas de dois solos distintos provenientes de taludes que sofreram ruptura durante esses eventos. As caracterizações foram realizadas por meio de ensaios de granulometria, limites de Atterberg e determinação da massa específica dos grãos. A amostra A (solo residual) apresentou composição predominante de finos e areia com presença de fragmentos de rocha alterada, Limite de Liquidez (LL) de 60% e massa específica dos grãos de 3,04 g/cm³. Por outro lado, a amostra B (colúvio) apresentou uma curva granulométrica bimodal, com presença de matacões e pedregulhos imersos em uma matriz argilosa, LL de 49% e massa específica de 2,47 g/cm³. Como conclusão observa-se que para análise de encostas é necessário a caracterização física dos materiais para a condução de soluções de geotecnia mais eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização de Solos, Deslizamento BR-470, Ensaios de Laboratório, Estabilidade de Taludes.

ABSTRACT: The extreme rainfall events that struck Rio Grande do Sul in May 2024 triggered various geotechnical instability processes, including slope failures along the BR-470 highway. The objective of this study is to characterize and compare the physical properties of two distinct soils collected from slopes that failed during these events. The characterizations were performed using particle size analysis, Atterberg limit tests, and determination of grain specific gravity. Sample A (residual soil) had a composition predominantly consisting of fines and sand with the presence of altered rock fragments, a Liquid Limit (LL) of 60%, and a grain specific gravity of 3.04 g/cm³. On the other hand, sample B (colluvium) exhibited a bimodal grain size distribution curve, with the presence of boulders and cobbles embedded in a clayey matrix, a LI of 49%, and a grain specific gravity of 2.47 g/cm³. Conclusively, the physical characterization of materials is paramount in slope analysis to ensure the delivery of more efficient geotechnical engineering solutions.

KEYWORDS: Soil Characterization, BR-470 Landslide, Laboratory Tests, Slope Stability.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas ao redor do globo são responsáveis por eventos pluviométricos extremos mais frequentes e intensos, associados diretamente à movimentação de massas de terra em ambientes urbanos e principalmente em regiões de relevo acidentado. Em maio de 2024, o Estado do Rio Grande do Sul foi severamente afetado por chuvas intensas que superaram as médias históricas de precipitação em diversos municípios (DEE-RS, 2025). Esse evento extremo desencadeou processos de instabilidade e ruptura de taludes ao longo da BR-470/RS. De acordo com o DNIT (2024), foram contabilizados 108 pontos de deslizamento em um trecho de apenas 24 km da rodovia, evidenciando a concentração e a magnitude dos danos.

A classificação e comparação de solos a partir de suas propriedades físicas tem como objetivo estimar seu provável comportamento ou, pelo menos orientar uma investigação para soluções de problemas, como deslizamentos e instabilidades de encostas (Pinto, 2006). Para isso, a caracterização por meio de propriedades índices é a ferramenta primária de análise: a granulometria permite identificar a estrutura física e a proporção da matriz fina frente aos fragmentos rochosos; os limites de Atterberg definem a plasticidade e a sensibilidade do material à saturação; e a massa específica dos grãos (ρs) auxilia na inferência de minerais densos típicos de rochas basálticas. A importância dessa correlação na Formação Serra Geral foi evidenciada no trabalho de Perazzolo (2003), que caracterizou depósitos da região, avaliando um perfil de solo coluvionar na própria BR-470, próximo a Bento Gonçalves, e um perfil de solo residual no município de Canela, demonstrando como variações nessas propriedades físicas condicionam o comportamento mecânico dos maciços sob forte infiltração.

Contudo, a extrema heterogeneidade dos depósitos de encosta e a magnitude sem precedentes das chuvas de 2024 expõem a dificuldade de prever o comportamento global desses taludes baseando-se apenas em análises regionais amplas, exigindo investigações locais específicas. Diante dessa problemática, o presente estudo busca caracterizar e comparar as propriedades físicas e índices de duas amostras de solo provenientes de pontos de deslizamento na BR-470/RS.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização das Amostras

No presente estudo, foram caracterizadas duas amostras (Solo A e B) provenientes de deslizamentos na BR-470/RS através de ensaios de granulometria, limites de Atterberg e massa específica dos grãos. A primeira apresenta uma coloração mais escura e concentração significativa de rochas alteradas, indicando possivelmente um solo residual, não coesivo, suscetível a mudanças no ângulo de atrito entre os grãos e perda de resistência (Budhu, 2015), enquanto a segunda amostra é um colúvio que possui características argilosas, indicando um solo coesivo com maior plasticidade e sensibilidade a variação de umidade. A Figura 1 ilustra os locais de ruptura dos taludes para cada amostra analisada.



Figura 1 - Locais dos deslizamentos.

Os materiais coletados foram preparados em laboratório de acordo com as diretrizes normativas de preparação de amostras (ABNT NBR 6457), seguindo posteriormente, para as etapas de caracterização física específica detalhadas a seguir.

2.2 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria consiste em três etapas principais: peneiramento grosso, no qual é determinada a distribuição de partículas com diâmetro maior que 2 mm; e sedimentação e peneiramento fino, que determinam a distribuição de partículas menores que 2 mm até 0,002 mm. Todos os ensaios foram realizados conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 7181 (ABNT, 2016).

2.3 Limites de Atterberg

Os limites de consistência dos solos foram determinados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 6459 (ABNT, 2016), para o limite de liquidez, e da norma ABNT NBR 7180 (ABNT, 2016), para o limite de plasticidade.

2.4 Massa Específica dos Grãos

A determinação da massa específica dos grãos foi realizada por meio do método do picnômetro, com remoção do ar aprisionado utilizando bomba de vácuo, conforme os procedimentos atualizados e estabelecidos pela norma ABNT NBR 17212 (ABNT, 2025).

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais permitem a análise comparativa do comportamento físico e geotécnico das duas amostras de solo coletadas, evidenciando diferenças relacionadas à composição granulométrica, aos limites de consistência e à massa específica dos grãos. A interpretação desses resultados é importante para a compreensão do comportamento dos materiais frente a grande variação de umidade observada durante os eventos climáticos no Rio Grande do Sul.

3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada com o objetivo de determinar a distribuição do tamanho das partículas das amostras estudadas, permitindo a identificação das frações predominantes e a comparação entre os materiais quanto à sua estrutura física. A partir da granulometria o solo pode ser identificado de acordo com as partículas que o constituem, e, tomando-se conhecimento do tipo de solo, torna-se possível estimar seu provável comportamento, propriedades físicas e químicas (Boszczowski, 2022).

Os resultados da análise granulométrica revelaram distribuições distintas, como ilustrado na Figura 2, evidenciando a diferença genética entre as amostras. A amostra de solo A (Residual), apresentou composição predominantemente dividida entre finos (32% de argila e 22% de silte), pedregulhos (16%) e areia (29%), com ausência de matacões. Já a amostra B (Colúvio) apresentou uma curva granulométrica bimodal, constituído por uma porção fina (20% de argila e 25% de silte) acompanhada de uma quantidade de material graúdo: 17% de pedregulhos e 28% de pedras de mão pela norma ABNT NBR 6502 (ANBT, 2022) além de baixa presença de areias (apenas 10%). Esse comportamento demonstra a dinâmica de formação dos colúvios em encostas basálticas, o movimento de massa transporta blocos de rocha sã que se instalam imersos em uma matriz argilosa de topo (Vargas, 1977).

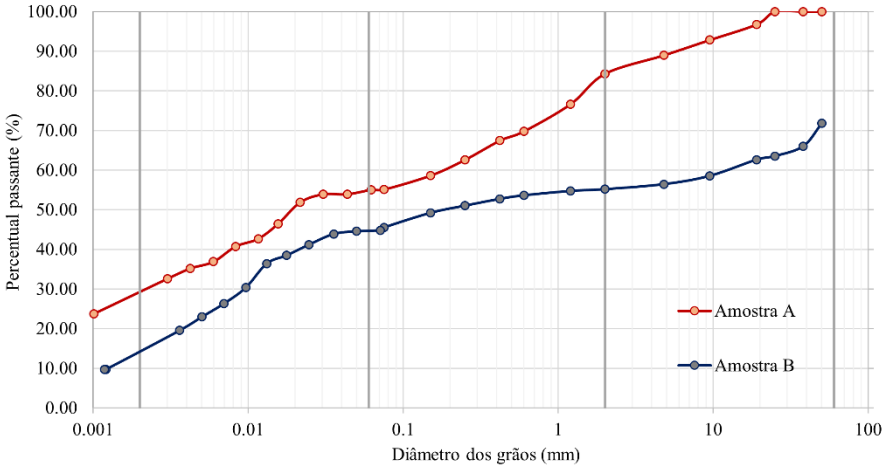


Figura 2 - Curva Granulométrica.

A grande presença de material grosso como pedregulhos e matacões pôde ser observado desde a preparação das amostras, no processo de destorroamento, como mostra a Figura 3. Para o processo de peneiramento foram utilizadas amostras homogeneizadas, contendo os blocos de pedregulhos encontrados, juntamente com a parte fina destorroada, diferentemente do processo realizado por Perazzolo (2003), que utilizou apenas a matriz do solo, retirando, quase de maneira integral os blocos presentes. Desta forma, comparando os resultados apenas da parte fina do solo (A partir da peneira #10), é possível perceber semelhanças que indicam uma mesma formação geológica para as amostras correspondentes de solo residual e colúvio, como pouca presença de areias em solos residuais de basalto e maior concentração de material argiloso em ambas as amostras.

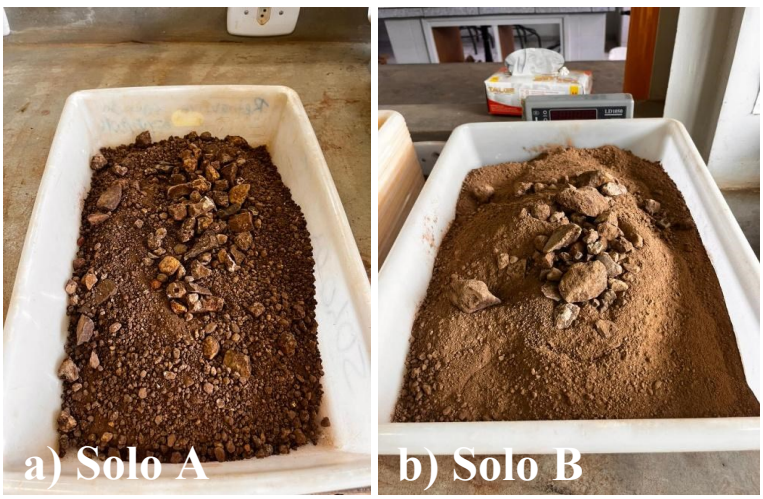


Figura 3 - Amostras de solo utilizadas para Granulometria: a) Solo A; b) Solo B.

3.2 Limites de Atterberg e Índice de Plasticidade

Os limites de Atterberg e Índice de Plasticidade foram determinados com o intuito de avaliar o comportamento de consistência e a plasticidade das amostras de solo, fornecendo informações relevantes sobre sua sensibilidade à variação de umidade. Em teores de umidade mais baixos, o solo tende a se comportar como um sólido, já em situações de umidade elevada, o solo adquire características líquidas, alterando seu comportamento de acordo com a variação de umidade (Braja Das e Sobhan, 2014). Esses parâmetros são amplamente utilizados na caracterização de solos finos, pois permitem inferir o grau de coesão, a trabalhabilidade e a tendência à perda de resistência em condições saturadas ou próximas da saturação (Caputo, 1981**)**. Na Tabela 1 são apresentados os resultados paras as amostras A e B, já na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos por Perazzolo (2003).

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de Limites de Atterberg e Índice de Plasticidade.

Amostra de Solo	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
A (Residual)	60 %	38 %	22 %
B (Colúvio)	49 %	23 %	23 %

Tabela 2 - Limites de Atterberg e Índice de Plasticidade, Perazzolo (2003)

Amostra de Solo	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
Solo Residual	48 %	25 %	23 %
Colúvio	66 %	23 %	43 %

Os resultados dos Limites de Atterberg indicam que ambas as amostras apresentam comportamento típico de solos finos com elevada plasticidade. O solo A apresentou maior Limite de Liquidez, evidenciando maior capacidade de retenção de água antes de atingir o estado líquido, enquanto o solo B (colúvio) apresentou Limite de Plasticidade inferior e Índice de Plasticidade ligeiramente superior, indicando que ingressa no regime plástico com mais facilidade e permanece nesse estado por um intervalo maior.

Para o solo residual, observa-se que o Limite de Liquidez determinado nesta pesquisa (60%) é superior ao reportado por Perazzolo (48%). Conforme Pinto (2006), solos residuais de basalto apresentam tipicamente valores de LL na faixa de 45% a 70% e Índice de Plasticidade (IP) entre 20% e 30%. Os resultados obtidos neste estudo (LL de 60% e IP de 22%) enquadram-se nestes intervalos, o que sugere uma forte compatibilidade mineralógica do maciço estudado com os padrões da Formação Serra Geral, indicando que o valor superior ao da referência regional pode representar uma variação natural esperada, e não necessariamente uma anomalia. Já para o colúvio, verificam-se valores distintos: o estudo desenvolvido por Perazollo (2003) apresenta LL mais elevado (66%) e IP superior (43%) em comparação aos valores aqui obtidos (49% e 23%).

3.3 Massa Específica dos Grãos

A massa específica dos grãos (ρs) corresponde à relação entre a massa e o volume das partículas sólidas do solo, desconsiderando os vazios existentes entre elas. De acordo com os procedimentos laboratoriais apresentados em manuais de mecânica dos solos, esse parâmetro constitui uma propriedade utilizada em outros ensaios de caracterização e interfere diretamente no peso específico natural, índice utilizado como base para determinação das tensões atuantes no solo. Na Tabela 3 são apresentados os resultados do ensaio de massa específica dos grãos:

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de massa específica dos grãos.

Amostra de Solo	ρs (g/cm³)	γs (kN/m³)
A (Residual)	3,04	29,82
B (Colúvio)	2,47	24,23

Os resultados indicam que o solo residual apresentou ρs de 3,04 g/cm³ (29,82 kN/m³), valor superior ao reportado por Perazzolo (2003) para material da mesma formação geológica. Durante a preparação das amostras, foi observada a presença significativa de fragmentos de rocha alterada, o que pode justificar esse aumento. Mesmo alterados, esses fragmentos ainda mantêm minerais mais densos da rocha de origem, elevando a densidade média dos grãos. Isso sugere que o material residual analisado apresenta menor grau de alteração quando comparado aos resultados encontrados por Perazzolo (2003).

Para o colúvio, o ρs obtido foi de 2,47 g/cm³ (24,23 kN/m³), inferior ao valor apresentado por Perazzolo (2003), aproximadamente 2,73 g/cm³. Essa diferença pode estar relacionada a menor percentual de areia na amostra.

4 CONCLUSÃO

A caracterização geotécnica preliminar das amostras provenientes dos deslizamentos na BR-470/RS evidenciou diferenças na composição e na estrutura dos maciços. O solo A (solo residual) caracterizou-se pela retenção de fragmentos de rocha alterada, refletindo-se em um Limite de Liquidez de 60% e ρs de 3,04 g/cm³, valores compatíveis com o padrão de intemperismo da Formação Serra Geral. Por outro lado, o solo B (colúvio), é composto por matacões e pedregulhos imersos em uma matriz argilosa, além de um ρs reduzido (2,47 g/cm³). As divergências quantitativas encontradas em relação aos resultados encontrados por Perazzolo

(2003) explicam-se pela escolha metodológica de incluir a macroestrutura do solo (blocos e pedregulhos) na análise granulométrica global, demonstrando que a escala de amostragem influencia a caracterização dos materiais da encosta. Por fim, tais contrastes reforçam a necessidade de uma investigação rigorosa das propriedades físicas dos solos constituintes da encosta, premissa fundamental para que as soluções de geotecnia sejam dimensionadas de forma assertiva e assegurem a estabilização do maciço.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Departamento de Construção Civil e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457: *Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459: *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180: *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181: *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502: *Rochas e Solos - Terminologia* Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 17212: *Solo – Determinação da massa específica da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm*. Rio de Janeiro.

Boszczowski, R.B. (2022) *Laboratório de Mecânica dos Solos: ensaios básicos de caracterização*. v. 1. Grupo de Estudos em Geotecnia, Curitiba.

Budhu, M. (2015) *Soil mechanics fundamentals*. John Wiley & Sons.

Caputo, H.P. (1981) *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*. 5. ed. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 219 p.

Braja Das, M., Sobhan, K. (2014) *Principles of geotechnical engineering*. 8. ed. Cengage Learning, Stamford.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2024). Com mais de cem pontos com deslizamento de terra, BR-470/RS é um dos principais desafios do DNIT após as chuvas de 2024. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/com-mais-de-cem-pontos-com-deslizamento-de-terra-br-470-rs-e-um-dos-principais-desafios-do-dnit-apos-as-chuvas-de-2024. Acesso em: 4 fev. 2026.

Perazzolo, L. (2003) *Estudo geotécnico de dois taludes da Formação Serra Geral, RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 169 p.

Pinto, C.S. (2006) *Curso básico de mecânica dos solos*. 3. ed. Oficina de Textos, São Paulo.

Rio Grande do Sul. Departamento de Economia e Estatística (2025). Impactos socioeconômicos dos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul: uma análise após um ano do desastre. Disponível em: https://dee.rs.gov.br. Acesso em: 4 fev. 2026.

Vargas, M. (1977) *Introdução à mecânica dos solos*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.