

Influência do Intemperismo na Granulometria de Solos Basálticos Jovens e Maduros

Heloisa Feil de Assis

Acadêmica do curso de Engenharia Civil, UTFPR, Toledo, Paraná, heloisafeilassis@alunos.utfpr.edu.br

Patricia Casarotto de Oliveira

Docente do curso de Engenharia Civil, UTFPR, Toledo, Paraná, patriciac@utfpr.edu.br

Alana Dias de Oliveira

Docente do curso de Engenharia Civil, UTFPR, Toledo, Paraná, alanaoliveira@utfpr.edu.br

Narayana Saniele Massocco

Docente do curso de Engenharia Civil, UTFPR, Toledo, Paraná, narayanas@utfpr.edu.br

Guilherme Alan Souza Costa

Docente do curso de Engenharia Civil, UTFPR, Toledo, Paraná, guilhermecosta@utfpr.edu.br

RESUMO: Este estudo avalia a influência do intemperismo na distribuição granulométrica de solos residuais basálticos em dois estágios de maturidade (jovem e maduro) coletados em Quatro Pontes, PR. Ensaios de peneiramento e sedimentação foram conduzidos com e sem hexametáfosfato de sódio como agente dispersante, atendendo às normas NBR 6457:2024 e NBR 7181:2025. Os resultados mostram que o solo maduro, submetido a intemperismo mais intenso, apresenta fração significativamente maior de partículas < 0,002 mm, enquanto o solo jovem retém mais areia fina e silte. O uso do dispersante aumentou o teor de argila em $3,3 \times$ (solo jovem) e $2,5 \times$ (solo maduro), revelando agregados argilosos ocultos nos ensaios sem dispersão química. As curvas granulométricas obtidas corroboram estudos anteriores sobre floculação natural em solos residuais basálticos e evidenciam que o grau de intemperismo é determinante para a caracterização textural. Conclui-se que a combinação de ensaios com e sem dispersante constitui procedimento indispensável para a correta classificação e para a seleção de parâmetros em projetos geotécnicos envolvendo esses materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Solo residual, Solo tropical, Caracterização de solos, Hexametáfosfato de sódio, Distribuição granulométrica.

ABSTRACT: This study investigates how weathering affects the particle-size distribution of basaltic residual soils at two maturity stages (young and mature) sampled in Quatro Pontes, PR. Sieve and sedimentation tests were performed with and without sodium hexametaphosphate as a dispersing agent, following standards NBR 6457:2024 and NBR 7181:2025. Results show that the mature soil, subjected to more intense weathering, contains a significantly larger fraction of particles < 0.002 mm, whereas the young soil retains more fine sand and silt. Adding the dispersant increased clay content by $3.3 \times$ in the young soil and $2.5 \times$ in the mature soil, revealing clay aggregates masked in tests without chemical dispersion. The resulting grain-size curves corroborate previous research on the natural flocculation of basaltic residual soils and demonstrate that the degree of weathering is a decisive factor for textural characterization. Consequently, the combined use of tests with and without dispersant is indispensable for accurate classification and for selecting reliable parameters in geotechnical designs involving these materials.

KEYWORDS: Residual soil, Tropical soil, Soil characterization, Sodium Hexametaphosphate, Particle-size distribution.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um material constituído por um conjunto de partículas minerais, entre as quais se encontram água e ar nos espaços intermediários. Essas partículas podem estar soltas ou fracamente unidas (cimentadas) e resultam da decomposição das rochas que originalmente compunham a crosta terrestre. Tal decomposição ocorre devido a agentes físicos e químicos. As variações de temperatura provocam trincas nas rochas, permitindo a penetração da água, que reage com os minerais; o congelamento dessa água pode gerar aumento de tensões nas trincas, levando ao fraturamento do bloco rochoso. A presença da fauna e da flora também contribui significativamente para a decomposição da rocha e consequente formação do solo, por meio de reações, como hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação e lixiviação. O conjunto desses e de outros processos resulta na formação dos solos, que são misturas de partículas de tamanhos variados e composições químicas distintas. A maior ou menor concentração de cada tipo de partícula depende diretamente da composição química da rocha de origem (Pinto, 2006; Knappett e Craig, 2014).

Uma das principais características que diferenciam os solos é o tamanho das partículas que os compõem, visto que, geralmente, um mesmo solo apresenta partículas com diferentes granulometrias. No entanto, essa variação nem sempre é perceptível a olho nu, o que dificulta a identificação visual dos diferentes constituintes. Essa dificuldade torna-se ainda mais evidente em solos residuais, que apresentam variações em profundidade associadas ao grau de intemperismo. Nessas formações, observa-se frequentemente a transição entre solos jovens, menos intemperizados e com características mais próximas da rocha original, e solos maduros, que passaram por um processo mais intenso de decomposição e transformação mineralógica. À medida que o intemperismo avança, ocorre a fragmentação progressiva das partículas minerais, resultando em uma granulometria cada vez mais fina, com maior presença de siltes e argilas (Lepsch, 2011; Chiossi, 2013).

Diante disso, a análise granulométrica constitui uma ferramenta essencial para determinar, de forma quantitativa, a distribuição dos tamanhos das partículas presentes em uma amostra de solo. Essa análise permite a classificação textural dos solos (como arenosos, siltosos ou argilosos) e, consequentemente, fornece informações fundamentais sobre seu comportamento físico. Além de sua relevância para o entendimento do solo, a análise granulométrica é indispensável em diversas aplicações da engenharia civil, auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao uso, ocupação e manejo adequado do solo. Trata-se de um dos ensaios básicos na caracterização geotécnica, por meio do qual é possível classificar os solos em granulares (como areias e pedregulhos) e de granulação fina (como siltes e argilas), com base no diâmetro das partículas que os constituem (Murrieta, 2018; Pinto, 2006; Knappett e Craig, 2014).

Portanto, o presente artigo tem como objetivo analisar a granulometria de um solo tropical residual de origem basáltica, em diferentes estágios de maturidade (jovem e maduro), proveniente do município de Quatro Pontes/PR, visando contribuir para o banco de dados sobre os solos locais, bem como compreender a influência do processo de intemperismo na variação granulométrica desses solos residuais e também o efeito do agente dispersante neste material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de solo analisadas neste estudo foram coletadas por Weisheimer et al. (2023) e correspondem a um solo residual de basalto classificado como argila silto-arenosa. Para a caracterização granulométrica, realizaram-se ensaios com e sem o uso de defloculante, totalizando quatro análises a partir de duas amostras distintas de solos em diferentes estágios de maturidade (jovem e maduro). Todos os procedimentos seguiram as normas NBR 6457:2024, referente à preparação das amostras, e NBR 7181:2025, para a análise granulométrica por peneiramento e sedimentação.

Para esse estudo, optou-se por realizar os ensaios de sedimentação com e sem defloculante (hexametáfosfato de sódio), foi seguido repouso de 12 horas antes da dispersão mecânica. No ensaio realizado sem defloculante, a amostra ficou em repouso em água destilada. O tempo de agitação no aparelho de dispersão foi fixado em 15 minutos para todas as amostras. Após a dispersão, o material foi transferido para provetas e efetuou-se leituras com densímetro nos tempos de 30 segundos, 1 minuto e 2 minutos, com cada tempo sendo repetido três vezes para maior precisão. A média das três leituras foi utilizada nos resultados. As demais leituras ocorreram nos tempos de 4, 8, 15 e 30 minutos; 1, 2, 4, 8 e 24 horas, com a temperatura da amostra sendo medida em cada etapa. Ao final do ensaio, o conteúdo da proveta foi despejado sobre uma peneira de 0,075 mm, lavado com água destilada e levado à estufa por 24 horas, até

secar completamente. Esse material seco foi peneirado manualmente, utilizando peneiras de 1,2 mm até 0,075 mm, e a massa retida em cada uma foi registrada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Efeito do Intemperismo: Comparação entre Solos Jovem e Maduro

Ao comparar os solos jovem e maduro sob a mesma condição de dispersão (com defloculante, Figura 1.A, e sem defloculante, Figura 1. B) observa-se que o solo maduro apresenta maior proporção de partículas finas ($<0,02$ mm), independentemente da utilização do defloculante. Essa característica é indicativa do maior grau de intemperismo do solo maduro, o qual, ao longo do tempo, sofreu transformações minerais mais intensas, resultando em maior produção de partículas finas, como argilas e siltes.

Na presença do defloculante, a curva do solo maduro se desloca mais à esquerda em relação à do solo jovem, o que evidencia uma dispersão mais eficiente das partículas finas. Esse comportamento está diretamente relacionado ao maior grau de intemperismo, que favorece a fragmentação mineral e a liberação de grãos de menor diâmetro. Já na ausência do defloculante, observa-se que ambas as curvas apresentam transições mais suaves nas faixas de partículas finas, o que sugere a existência de flocos ou agregados que se desagregam gradualmente ao longo do ensaio. Esse padrão é mais marcante no solo jovem, onde a retenção de finos parece ser maior, provavelmente devido à presença de estruturas ainda parcialmente preservadas.

Batista (2007) obteve resultados semelhantes em sua pesquisa, destacando que as diferenças entre os solos analisados com e sem defloculante devem ser atribuídas às propriedades peculiares desses solos, especialmente aquelas relacionadas à floculação ou agregação dos grãos em meio aquoso. Segundo a autora, esses mecanismos interferem diretamente na liberação das partículas mais finas durante os ensaios. Angelim (2011) também obteve resultados que confirmam esse comportamento, reforçando que o uso de defloculante é fundamental para romper os agregados e permitir uma caracterização mais fiel da fração fina presente no solo.

A variação na forma e na inclinação das curvas granulométricas entre os dois tipos de solo, especialmente nas regiões correspondentes às menores partículas, mostra como o intemperismo afeta a distribuição granulométrica ao longo do perfil do solo. Além disso, evidencia a importância do uso de defloculante para diferenciar o que de fato é fração fina do que é resultado de agregação temporária. Assim, tanto o grau de intemperismo quanto o preparo da amostra são fatores determinantes para a correta interpretação da granulometria em solos residuais.

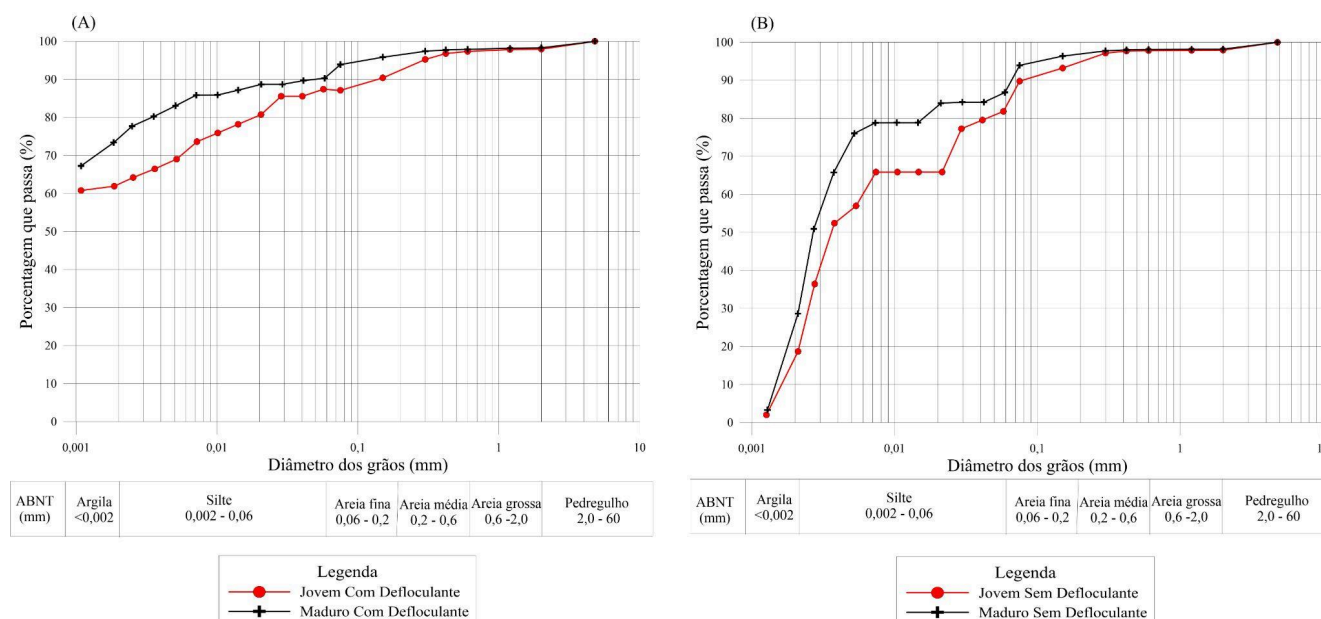


Figura 1. Análise granulométrica dos solos residuais. (A) Comparação entre o solo jovem e maduro com defloculante e (B) Comparação entre o solo jovem e maduro sem defloculante.

Sob a ótica do intemperismo, mesmo considerando a influência do defloculante, é possível perceber que o solo maduro apresenta, de forma consistente, maior teor de argila em comparação ao solo jovem (tanto nas amostras com defloculante quanto nas sem defloculante). Esse resultado reforça a atuação do intemperismo como agente formador de partículas finas, principalmente argilas, ao longo do tempo. Assim, a maior presença de argila no solo maduro serve como um indicativo direto de seu grau mais avançado de alteração mineral e evolução pedogenética.

A comparação entre ambas as amostras é notada também no material que ficou retido na peneira 2,0 mm e no material usado no peneiramento fino. Na Figura 2, observa-se o material retido na peneira de 2,0 mm durante o peneiramento grosso das amostras de solo jovem (A) e solo maduro (B). Observa-se visualmente que o solo jovem apresenta fragmentos de maior dimensão, com formatos mais angulosos e cores, em geral, mais claras, enquanto o solo maduro exibe partículas menores, mais arredondadas e com coloração mais escura e heterogênea.

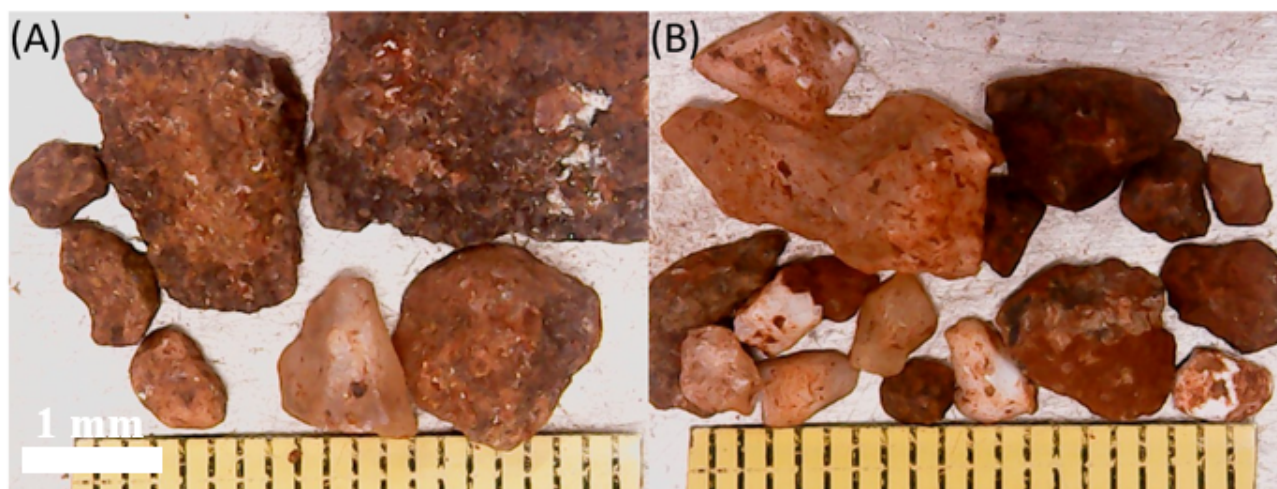


Figura 2. Material retido na peneira 2,0 mm durante o peneiramento grosso na amostra (A) de solo jovem e (B) de solo maduro.

As diferenças de forma e tamanho entre os grãos podem estar diretamente relacionadas ao grau de intemperismo dos solos. No solo maduro, a ação prolongada dos processos químicos e físicos promoveu a fragmentação dos minerais primários, tornando os fragmentos mais finos e arredondados, resultado de maior desgaste e decomposição ao longo do tempo. Já no solo jovem, a menor atuação desses processos preserva partículas maiores e com bordas mais irregulares, indicativas de uma menor evolução pedogenética.

Além disso, a coloração mais avermelhada do solo maduro pode ser atribuída à presença de óxidos de ferro formados durante o intemperismo, enquanto o solo jovem, com coloração mais clara, pode conter minerais ainda pouco alterados.

Na Figura 3, observa-se o material utilizado no peneiramento fino das amostras de solo jovem e maduro, com e sem defloculante. Visualmente, há diferenças marcantes entre os dois tipos de solo, principalmente em relação à coloração e ao tamanho dos grãos. As amostras do solo jovem (A e B) apresentam grãos mais claros, com tonalidade predominantemente bege e partículas visualmente maiores e mais heterogêneas. Por outro lado, nas amostras do solo maduro (C e D), predominam partículas menores com coloração avermelhada a marrom escura (uma característica típica de solos mais intemperizados, frequentemente associados à presença de óxidos de ferro).

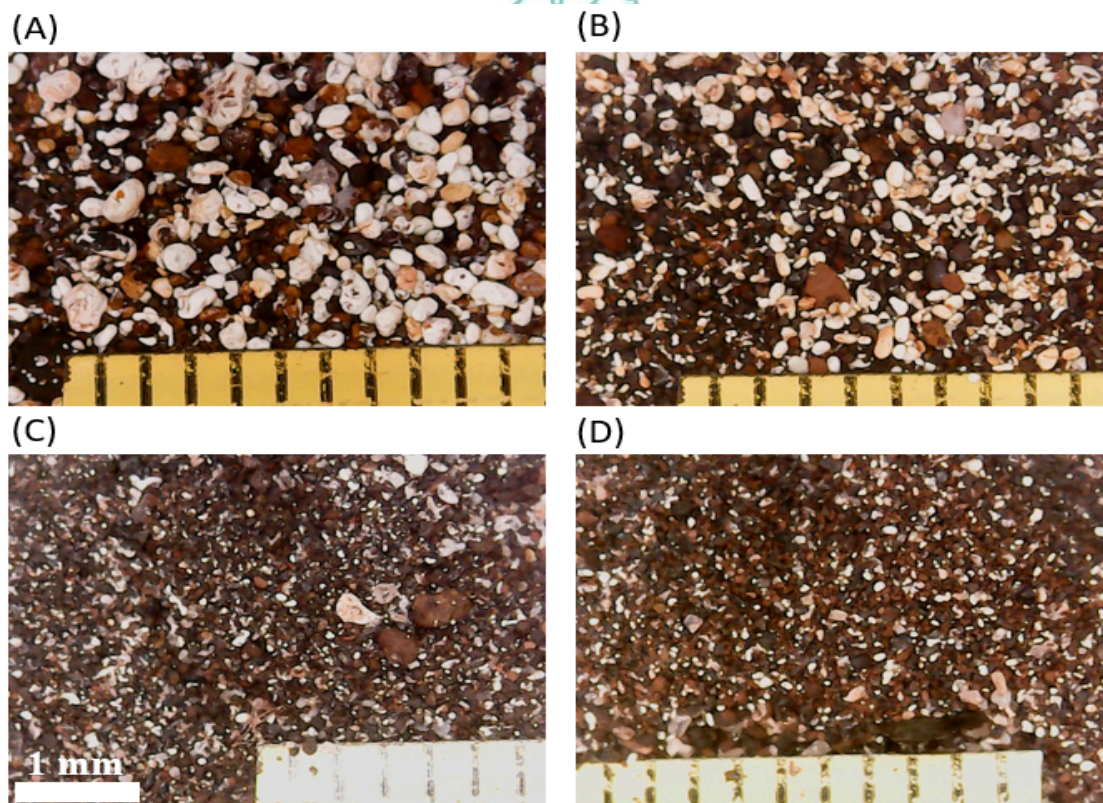


Figura 3. Material usado no peneiramento fino das amostras de (A) solo jovem com defloculante, (B) solo jovem sem defloculante, (C) solo maduro com defloculante e (D) solo maduro sem defloculante.

A ação do defloculante, embora essencial na liberação de partículas finas durante a etapa de sedimentação, não apresenta impacto visual significativo nas amostras representadas Figura 3, pois estas refletem apenas o material retido no peneiramento fino. No entanto, sabe-se que sua atuação ocorre principalmente sobre a fração argilosa, que não é visível nessa etapa. Mesmo assim, nota-se que o solo maduro, independentemente do uso do defloculante, apresenta textura visual mais fina e cores mais fortes (avermelhado a marrom), o que reforça sua condição de solo mais evoluído do ponto de vista pedogenético.

Além disso, a diferença de forma entre os grãos também é notável: no solo maduro, observa-se maior arredondamento e desgaste das partículas, o que pode estar relacionado ao maior grau de intemperismo químico e físico. Já o solo jovem tende a apresentar partículas mais angulosas, o que indica uma menor alteração química e física do material original. Esse fato também é evidenciado no material retido na peneira 2,0 mm (Figura 2).

As diferenças visuais observadas nos materiais retidos e passantes ajudam a complementar os resultados da análise granulométrica, reforçando a diferença entre os dois solos e oferecendo uma base visual e qualitativa para as variações percebidas nas curvas de distribuição de partículas.

3.2 Efeito do agente dispersante - Hexametáfosfato de sódio

A influência do defloculante na análise granulométrica dos solos é claramente observada na Figura 4 A (solo jovem) e B (solo maduro). Em ambos os casos, as curvas com defloculante apresentam maior porcentagem de partículas finas (principalmente na faixa de argila, $<0,002$ mm) em comparação com os mesmos solos analisados sem o uso de agente dispersante. Esse comportamento reflete a eficácia do defloculante na dispersão dos grãos, promovendo a desagregação de partículas que, de outra forma, permaneceriam floculadas e seriam interpretadas como frações de maior diâmetro.

Na Figura 4.A, a curva correspondente ao solo jovem com defloculante mostra um deslocamento claro à esquerda em relação à curva sem defloculante, principalmente nas frações mais finas. Isso indica que a adição do defloculante permitiu a liberação de uma quantidade significativa de argila que estava antes retida em agregados. O mesmo comportamento é observado na Figura 4.B, referente ao solo maduro, onde o uso do

defloculante também resulta em um deslocamento da curva para a esquerda, evidenciando maior presença de partículas finas.

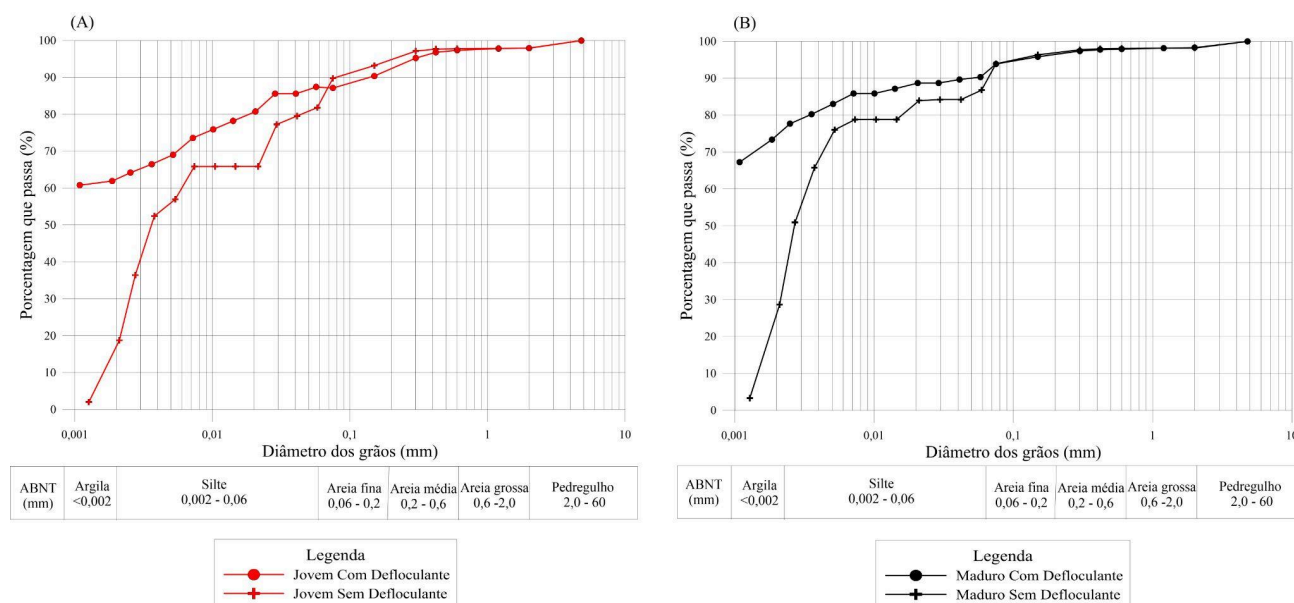


Figura 4. Análise granulométrica de cada solo. (A) Solo jovem com e sem defloculante e (B) Solo maduro com e sem defloculante.

Esse padrão de comportamento está alinhado com o que foi descrito por Batista (2007), que afirma que a discrepância entre os ensaios realizados com e sem defloculante deve-se às propriedades intrínsecas dos solos, sobretudo de sua tendência à floculação e à formação de agregados em solução aquosa. A autora destaca que, sem o uso de um agente dispersante, essas partículas se mantêm agrupadas, sendo interpretadas como maiores do que realmente são. Angelim (2011) também obteve resultados semelhantes, reforçando que o uso do defloculante é essencial para uma caracterização mais fiel da fração fina dos solos residuais. Borges et. al. (2010) também obteve resultados semelhantes, no qual afirma que a desagregação química e física (destorroamento) contribuem para melhor desagregação do solo e que, quando utilizadas separadamente (por exemplo sem o uso do defloculante), atuam de maneira diferente e com menor eficácia. Essas diferenças estão relacionadas ao grau de intemperismo do solo analisado (Borges et. al., 2010).

A diferença nas curvas ainda mostra que, na ausência do defloculante, há um comportamento mais progressivo e suave nas transições granulométricas (principalmente nas faixas de argila e silte) sugerindo que os grãos finos não estão completamente liberados. Isso pode causar subestimação da fração argila e superestimação das frações como silte e areia fina. Já com o defloculante, a quebra desses aglomerados revela a verdadeira distribuição de partículas, permitindo uma interpretação mais precisa do solo.

No que diz respeito à classificação do solo, sem o agente dispersante, as análises granulométricas enquadraram as amostras como silte argiloso. Por outro lado, ao utilizar o defloculante, as amostras passaram a ser classificadas como argila siltosa. A Figura 5 contém os percentuais de cada tipo de solo, onde é possível notar que o agente dispersante altera completamente a distribuição granulométrica, agindo principalmente nas frações de areia fina, silte e argila.

Frühauf et al. (2024) também realizaram uma análise semelhante, ainda que o foco do estudo tenha sido um método granulométrico diferente (difração à laser). Apesar disso, os autores aplicaram o ensaio de sedimentação com o uso de defloculante, o que permite uma comparação com os resultados obtidos neste trabalho. No presente estudo, identificou-se teores de argila de 62% para o solo jovem e 73% para o solo maduro na condição com defloculante. Já no estudo de Frühauf et al. (2024), os valores obtidos foram de 55% para o solo jovem e 67% para o solo maduro. Assim, observa-se que os resultados convergem, reforçando a confiabilidade dos dados obtidos e confirmando que o solo maduro apresenta maior porcentagem de finos por se tratar de um solo com maior grau de intemperismo.

Além disso, é possível observar que os solos analisados com o uso de defloculante apresentam maiores percentuais de argila, enquanto nos ensaios sem defloculante a fração silte aparece de forma mais expressiva.

Esse comportamento está relacionado à floculação natural das partículas finas: na ausência do defloculante, os grãos permanecem aglomerados, o que impede sua correta dispersão levando-os a serem classificados como partículas maiores, como o silte.

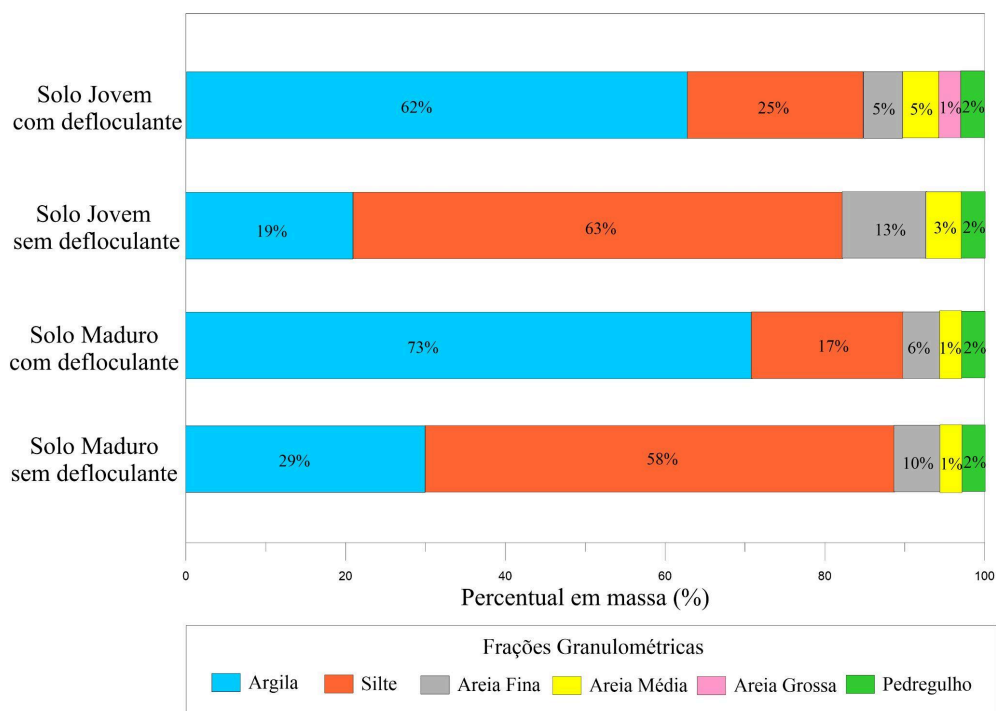


Figura 5. Distribuição granulométrica das amostras.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios de laboratório realizados, foram obtidas as seguintes conclusões:

- Para um mesmo procedimento de ensaio nesse material de origem basáltica, o solo maduro tem sempre maior teor de finos do que o solo jovem;
- A adição do dispersante aumentou significativamente o teor de argila ($< 0,002$ mm), em torno de 3,3 vezes no solo jovem e 2,5 vezes no solo maduro;
- O uso do hexametáfosfato de sódio foi essencial para evidenciar a real quantidade de argila presente nas amostras, mostrando que o uso de dispersante é indispensável na análise granulométrica desse tipo de solo residual;
- As diferenças visuais entre os solos (o solo maduro, mais escuro e com grãos arredondados; e o solo jovem, mais claro e com partículas mais irregulares) confirmam os dados obtidos na análise granulométrica e ajudam a entender melhor o estágio de intemperismo de cada um.

Por fim, fica claro que tanto o grau de intemperismo quanto a utilização de defloculante influenciam diretamente na classificação dos solos estudados, o que é essencial para garantir maior segurança e confiabilidade em projetos de engenharia geotécnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angelim, R.R. (2011) Desempenho de ensaios pressiométricos em aterros compactados de barragens de terra na estimativa de parâmetros geotécnicos. Tese de Doutorado em Geotecnia. Universidade de Brasília.

Borges, C.R., Gitirana Jr., G.F.N., Vargas, C.A.L., Guimarães, R. C. (2010) Comparação de Dados Granulométricos Obtidos por Diversas Técnicas para um Perfil de Solo de Aparecida de Goiânia-GO. In: Engenharia Geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade - COBRAMSEG.



Batista, L.C.M. (2007) Determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília.

Chiossi, N. J. (2013) *Geologia de Engenharia*, 3 ed., São Paulo, Oficina de Textos.

Frühauf, E.C.V.B., Barreto, Y.S.L., Schneider, R., Oliveira, P.C., Costa, G.A.S. (2024) Aplicação de Difração a Laser Via Seca para Estudo Granulometria de um Solo Residual de Basalto do Oeste do Paraná. In: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG, Balneário Camboriú.

Knappett, J.A., Craig, R.F. (2014) *Craig Mecânica dos Solos*, 8 ed., Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.

Lepsch, I.F. (2021) *Lições de Pedologia*, 2 ed., São Paulo, Oficina de Textos.

Murrieta, M. (2018) *Mecânica dos Solos*, 1 ed., Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda.

Pinto, C.S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*, 3 ed., São Paulo, Oficina de Textos.

Weisheimer, S.I., Barreto, Y.S.L., Costa, G.A.S., Oliveira, P.C., Ito, W.H. (2023) Amostragem e Caracterização preliminar de um Solo Residual de Basalto do Oeste do Paraná - práticas de campo e laboratório. In: XIII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul - GEOSUL, Ponta Grossa.