

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SPEEDY PARA
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM AMOSTRAS DE REJEITO
DE MINÉRIO DE FERRO**

João Paulo Gonzaga ALVES¹; Danusia Amorim SOUTO²; Gladstone Antunes da SILVA³; Marciel Artur da SILVA⁴; Giovanna Moura CALAZANS⁵; Juni CORDEIRO⁶

Resumo – O empilhamento de rejeitos secos compactados tem se apresentado como solução potencial à substituição de barragens. Na construção desses aterros, o teor de água do material interfere significativamente na qualidade da compactação, tornando rotineiros os ensaios para determinação desse parâmetro. O método da secagem em estufa é amplamente utilizado para aferição do teor da umidade, no entanto, visando a redução do tempo dispendido para a obtenção de resultados, outras metodologias de ensaios têm sido examinadas. Neste contexto se insere essa pesquisa, que visou analisar a aplicação do método Speedy utilizando dois diferentes equipamentos (baseados nas normas DNER/DNIT e ASTM/AASHTO) para a determinação do teor de umidade natural de amostras de rejeito de minério de ferro. As amostras utilizadas não apresentaram variações significativas quanto à granulometria e massa específica das partículas. Notou-se que à medida em que ocorreu o aumento do percentual de água nas amostras analisadas, houve aumento do desvio padrão associado. Considerando os desvios absolutos entre as umidades, verificou-se que o método Speedy ASTM/AASHTO corresponde à melhor opção equivalente ao método da secagem em estufa.

Abstract – The stacking of compacted dry tailings has been presented as a potential solution for replacing dams. In the construction of these landfills, the water content of the material significantly interferes with the quality of compaction, making tests to determine this parameter a routine. The oven drying method is widely used to measure moisture content; however, in order to reduce the time spent to obtain results other test methodologies have been examined. This research is part of this context, which aimed to analyze the application of the Speedy method using two different equipment (based on DNER/DNIT and ASTM/AASHTO standards) to determine the natural moisture content of iron ore tailings samples. The samples used did not present significant variations in terms of particle size and specific mass. It was noted that as the percentage of water in the analyzed samples increased, there was an increase in the associated standard deviation. Considering the absolute deviations between the moisture, it was found that the Speedy ASTM/AASHTO method corresponds to the best option equivalent to the oven drying method.

Palavras-Chave – Aterros controlados; Teor de umidade; Rejeito de minério de ferro.

¹Eng.; GEOCONTROLE BR SONDA GENS S.A: Nova Lima – Minas Gerais, (31) 31 3517-9011, assistente.labct@geocontrole.com

² Gest. Amb.; MSc., GEOCONTROLE BR SONDA GENS S.A: Nova Lima – Minas Gerais, (31) 31 3517-9011, danusiasouto@geocontrole.com

³Eng.; GEOCONTROLE BR SONDA GENS S.A: Nova Lima – Minas Gerais, (31) 31 3517-9011, gladstoneantunes@geocontrole.com

⁴Eng.; GEOCONTROLE BR SONDA GENS S.A: Nova Lima – Minas Gerais, (31) 31 3517-9011, marcielartur@geocontrole.com

⁵ Eng.; MSc, Consultora Ambiental: Jundiaí – São Paulo, (31) 99673-6801, giovannacalazans@hotmail.com

⁶ Geól., Dra., GEOCONTROLE BR SONDA GENS S.A: Nova Lima – Minas Gerais, (31) 31 3517-9011, junicordeiro@geocontrole.com

1. INTRODUÇÃO

Os recentes eventos de colapso de barragens no Brasil levaram ao desenvolvimento de projetos alternativos de disposição de rejeitos oriundos dos processos de beneficiamento. Dentre as alternativas propostas, destaca-se como solução potencial o empilhamento de rejeitos secos compactados (Consoli et al., 2022).

De modo geral, a construção de aterros exige a aplicação de materiais selecionados que atinjam os valores necessários de parâmetros que permitam um trabalho seguro quanto à estabilidade e deformabilidade da estrutura, além do controle *in situ* de parâmetros geotécnicos (Kumor e Kumor, 2016).

Nesse processo, uma das etapas mais relevantes consiste na compactação do material, visando reduzir o volume de vazios. A relevância dessa etapa está vinculada à redução da permeabilidade, diminuição da deformabilidade e ao aumento e estabilização da resistência.

No entanto, o teor de água do material do aterro interfere significativamente na qualidade da compactação, uma vez que influencia o parâmetro de densidade seca, fazendo com que esse seja um dos parâmetros principais adotados como critério para aceitação de uma obra de aterro (Kumor e Kumor, 2016).

Em análises geotécnicas, o teor de umidade natural do solo é realizado por meio da secagem dos materiais em estufa em uma temperatura controlada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Esse método é preciso, simples e confiável. No entanto, se faz necessário um tempo de secagem de 16 h a 24 h, dependendo do tipo de material, quantidade da amostra e umidade (ABNT, 2024).

Buscando a redução do tempo despendido na obtenção de resultados de umidade, diferentes metodologias de ensaios têm sido pesquisadas, como, por exemplo, a utilização de forno de micro-ondas (Usmen e Kheng, 1986; Nagi e Whiting, 1994; Diprose, 2001; Tavares et al., 2008; Kramarenko et al., 2016a, b; Jalilian et al. 2017; Mohamad et al., 2020; Cordeiro et al., 2022) e Speedy (Little et al., 1998; Berney IV et al., 2012, Ribeiro et al., 2018).

Assim, este trabalho visa analisar a aplicação do método Speedy para a determinação do teor de umidade natural de amostras de rejeito de minério de ferro provenientes de um empreendimento minerário localizado no Quadrilátero Ferrífero (MG).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta análise foram utilizadas 15 amostras de rejeito de minério de ferro obtidas em um empreendimento minerário localizado no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

A fim de conhecer as características do material coletado, as amostras de rejeito de minério de ferro foram preparadas e secas em estufa a 105°C até atingirem a queima da umidade e obtenção de leituras com as massas constantes do material seco, de acordo com a NBR 6457, desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2024). Em sequência foram realizados os ensaios para caracterização dessas amostras (ABNT, 2016, 2017, 2025a, b): granulometria (NBR 7181), a massa específica das partículas (NBR 17212), o limite de plasticidade (NBR 7180) e o limite de liquidez (NBR 6459).

Além disso, essas amostras foram fracionadas para a adição de diferentes volumes de água de tal forma que fossem alcançadas 7 diferentes umidades (2%, 4%, 7%, 10%, 13%, 15% e 18%).

Assim, esta pesquisa utilizou 105 amostras de rejeito de minério de ferro que foram submetidas à aplicação de três diferentes métodos para verificação do teor de umidade: (1) secagem em estufa, (2) método Speedy utilizando aparelho com dimensões e metodologia definidos pelo Departamento de Estradas de Rodagens (DNER) / Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (DNER, 1994); e (3) aparelho Speedy aplicado à metodologia norte americana, com dimensões e metodologia definidos pela *American Society for Testing and*

Materials (ASTM) / American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (AASHTO, 2022; ASTM, 2018).

A NBR 6457 estabelece os procedimentos necessários para a preparação de amostras objetivando a execução de ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade natural pelo método da estufa (ABNT, 2024).

Para a realização desse ensaio, uma certa quantidade de material (a depender da dimensão dos grãos maiores contidos na amostra) é colocada em uma cápsula, sendo em seguida pesado, e levado à uma estufa à uma temperatura entre 105°C a 110°C, onde deve permanecer até apresentar uma massa constante (comumente entre 16 h a 24 h).

Após esse período, a cápsula é retirada da estufa, transferida para um dessecador até atingir a temperatura ambiente e novamente pesada. A NBR 6457 estabelece que devem ser realizadas no mínimo três determinações do teor de umidade por amostra (ABNT, 2024).

No método Speedy é utilizado um aparelho composto por um reservatório metálico fechado que é acoplado a um manômetro, que determina sua pressão interna (Figura 1). Dentro do reservatório são colocadas duas esferas de aço que por meio de agitação manual entram em contato com uma massa de solo e carbureto de cálcio (CaC_2). A combinação da água presente no solo com o carbureto de cálcio gera acetileno (C_2H_2) e hidróxido de cálcio. Assim, a partir da variação da pressão interna no reservatório, do peso da amostra utilizada no ensaio e da tabela de aferição própria do equipamento é possível obter a quantidade de água existente no solo analisado (ABNT, 2012).

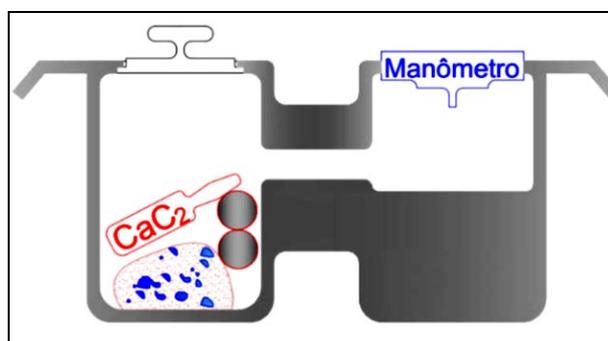


Figura 1- Esquema para aferição do teor de umidade por meio do ensaio Speedy. Fonte: LGP – UDESC.

A aparelhagem utilizada para a realização dos ensaios de teor de umidade, utilizando ambas as normas, consistiu em:

- Balança tarada
- Duas esferas de aço (fornecidas pelo fabricante)
- Escova
- Medida para carbureto de cálcio
- Reagente
 - O carbureto de cálcio pulverizado, capaz de produzir pelo menos 0,14 dm³ de acetileno por grama de carbureto (2,25 pés cúbicos/libra).
- Equipamento Speedy, variação:
 - Conjunto Speedy (DNER/DNIT) é um aparelho com câmara pequena e manômetro acoplado para porções de solos de até 20 gramas.
 - Conjunto Speedy (ASTM/AASHTO) aparelho com câmara grande e manômetro acoplado para porções de solos até 26 gramas.

Para a determinação da umidade pelo método Speedy DNER/DNIT, em todas as amostras analisadas, foram utilizadas duas ampolas de CaC_2 . As massas de rejeito de minério de ferro utilizadas variaram de 20 g para as umidades de 2%, 4%, 7% e 10% e 10 g para as umidades de 13%, 15% e 18%.

Na determinação da umidade pelo método Speedy ASTM/AASHTO são utilizadas porções de solos com até 26 g e adicionadas na câmara 3 ampolas de carbureto e 2 esferas de aço. Dessa forma, o número de ampolas de CaC₂ utilizadas variou de 2 (umidades de 2% e 4%) a 3 (umidades de 7%, 10%, 13%, 15% e 18%). Em todos os ensaios, a massa de rejeito de minério de ferro utilizada correspondeu a 20 g.

Assim, nessa pesquisa a determinação da umidade pelo método da estufa foi utilizada como referência para a comparação com os resultados obtidos pelos métodos Speedy.

3. TEOR DE UMIDADE DAS AMOSTRAS ANALISADAS

O ensaio de granulometria por peneiramento tem como objetivo analisar as partículas de maior tamanho utilizando diferentes malhas de peneiras, a fim de determinar a quantidade de material retido em cada etapa do processo. Para representar as partículas menores, é essencial realizar a etapa de sedimentação, que se baseia no princípio de que as partículas se depositam em um fluido a diferentes velocidades, dependendo do seu tamanho e densidade (Nobile et al., 2014). “O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo” (Pinto, 2006, p. 63).

As características dos rejeitos são variáveis, dependendo da composição dos minérios e dos processos de beneficiamento empregados. Em geral, os rejeitos podem apresentar ampla faixa granulométrica, com predomínio das frações silte e argila, com partículas variando entre 0,01 e 70 μm , com, em média, 50% do material menor do que 8,16 μm (Coura, 2018).

As amostras analisadas nesta pesquisa apresentam uma granulometria homogênea, correspondendo a areia siltosa (9 amostras) ou silte arenoso (6 amostras), contendo vestígios de argila (Figura 2). Essas amostras não possuem limite de plasticidade e de liquidez.

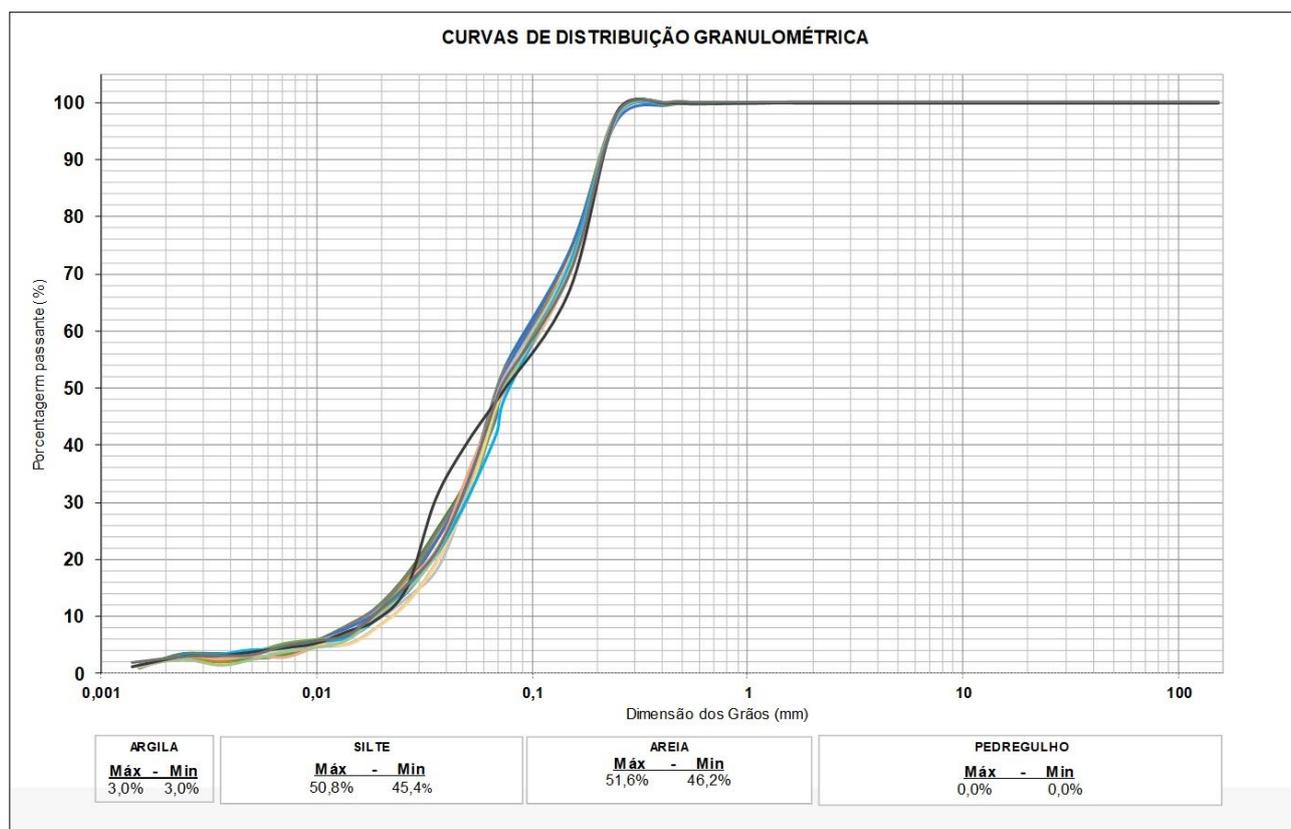


Figura 2: Curvas granulométricas das amostras de rejeito utilizadas na pesquisa.

De modo geral, os minerais predominantes no rejeito de minério de ferro correspondem à hematita (caracterizada por massa específica dos grãos - ρ_s de cerca de 5,25 g/cm³) e quartzo (ρ_s entre 2,65 e 2,70 g/cm³) (Esposito, 2000). A massa específica das partículas das amostras analisadas variou entre 2,800 g/cm³ a 2,886 g/cm³, indicando o predomínio de quartzo nos materiais analisados.

Como não houve variação significativa nos resultados obtidos, considera-se que as características físicas das amostras analisadas não influenciaram de forma relevante os teores de umidade determinados pelos métodos Speedy (variações DNER/DNIT e ASTM/AASHTO) e secagem utilizando estufa.

A diferença entre os percentuais médios de umidade entre os métodos mostrou que o método Speedy DNER/DNIT obteve umidade maior que o método de secagem de estufa, entre 0,4 a 1,24%. Os valores médios foram significativamente maiores para todos os percentuais de umidade testados (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios do percentual de umidade das 15 amostras de rejeitos, por método de secagem em estufa e variações do método Speedy

| % de adição de água | Percentual médio de umidade | | | | | Diferença entre percentuais médios | | | |
|---------------------|-----------------------------|----|------------------|---|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------|
| | Estufa | | Speedy DNER/DNIT | | Speedy ASTM/AASHTO | Speedy DNER/DNIT - Estufa | Speedy ASTM/AASHTO - Estufa | Speedy DNER/DNIT - Speedy ASTM/AASHTO | |
| 2 | 1,73 ± 0,14 | b* | 2,13 ± 0,18 | a | 2,03 ± 0,15 | a | 0,40 | 0,30 | 0,10 |
| 4 | 3,57 ± 0,40 | c | 4,61 ± 0,32 | a | 4,09 ± 0,46 | b | 1,04 | 0,52 | 0,52 |
| 7 | 6,65 ± 0,25 | c | 7,89 ± 0,45 | a | 7,18 ± 0,58 | b | 1,24 | 0,53 | 0,71 |
| 10 | 9,46 ± 0,33 | b | 10,38 ± 0,34 | a | 9,67 ± 0,72 | b | 0,92 | 0,21 | 0,71 |
| 13 | 12,48 ± 0,49 | b | 13,32 ± 0,31 | a | 12,09 ± 0,84 | b | 0,84 | -0,39 | 1,23 |
| 15 | 14,12 ± 0,45 | b | 15,17 ± 0,29 | a | 13,87 ± 0,40 | b | 1,05 | -0,25 | 1,30 |
| 18 | 17,07 ± 0,34 | b | 17,87 ± 1,05 | a | 16,06 ± 0,54 | c | 0,80 | -1,01 | 1,81 |

* letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre métodos de secagem, de acordo com o teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Já o método Speedy ASTM/AASHTO apresentou variações menores dos teores de umidade em relação ao método de secagem de estufa, com diferenças de valores absolutos entre 0,2 a 1%, mas não se diferenciou significativamente nos percentuais de umidade de 10%, 13% e 15%.

Os métodos Speedy DNER/DNIT e Speedy ASTM/AASHTO só não se diferenciaram significativamente na umidade de 2%. Nos demais percentuais de umidade, a média dos valores obtidos por Speedy DNER/DNIT foi maior significativamente.

O percentual de umidade entre as amostras de rejeito também se manteve sem grande variação (desvio padrão próximo a zero) (Tabela 1), mostrando homogeneidade no conjunto analisado. À medida em que aumenta o percentual de água, aumenta também o desvio padrão associado, mas não de forma linear. Ou seja, apesar de parecer que a dispersão dos dados aumenta quando há o aumento da umidade da amostra, não é possível confirmar já que os maiores desvios padrões obtidos não estão necessariamente no maior percentual de adição de água testado.

A Figura 3 foi gerada para comparar os desvios absolutos, ou seja, a diferença absoluta entre a umidade obtida pelos métodos Speedy e pelo método de estufa. Observa-se na Figura 3A que o método Speedy DNER/DNIT foi o que apresentou desvios mais baixos, se diferenciando

significativamente do Speedy DNER/DNIT. Ou seja, em relação ao método de secagem de estufa, o método ASTM/AASHTO apresenta-se como melhor opção equivalente.

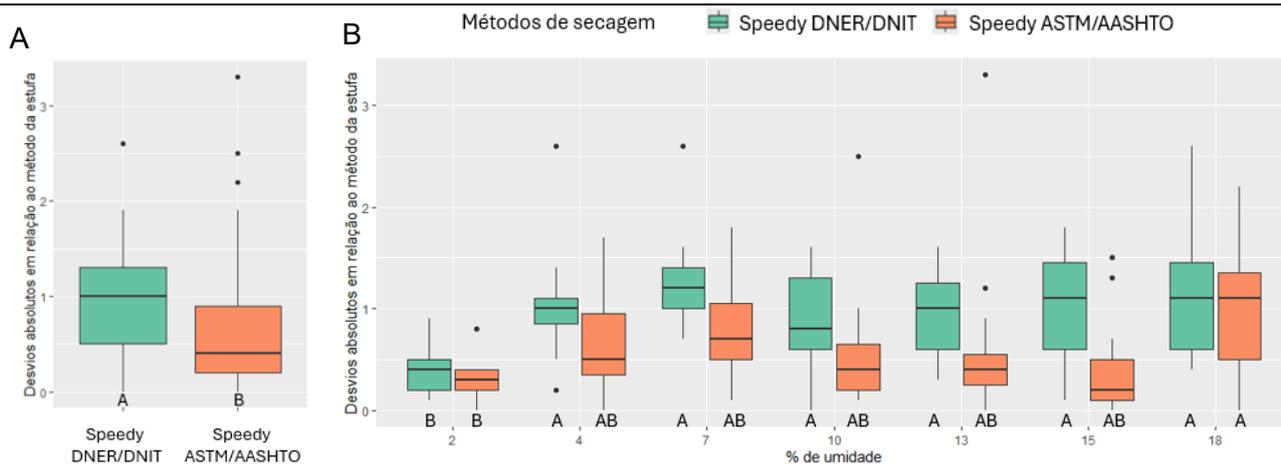


Figura 3 - Desvios absolutos obtidos nos métodos Speedy em relação ao método de secagem em estufa (A), e por percentual de umidade (B).

A) Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre grupos pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney, ao nível de significância de 5%.

B) Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre grupos pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%, seguido do teste de comparações múltiplas.

Analisando os desvios absolutos por percentual de umidade, nota-se que os menores desvios significativos ocorreram na amostra mais seca (2% de umidade). No método Speedy DNER/DNIT, todos os demais desvios foram significativos em relação ao menor percentual de umidade. No método Speedy ASTM/AASHTO, apenas os desvios das amostras com 18% de umidade foram significativamente maiores que nos demais percentuais. A partir desses resultados, é possível visualizar que os desvios são menores apenas em amostras com baixo teor de umidade (2% de umidade), e que eles não têm correlação direta com o teor de umidade.

A Figura 4 exibe as análises de regressão linear entre os resultados dos teores de umidade alcançados utilizando as três diferentes metodologias, sendo possível notar uma melhor correlação entre os métodos da estufa e Speedy DNER/DNIT ($R^2 = 0,986$). Uma correlação similar também foi observada entre os métodos da estufa e Speedy ASTM/AASHTO ($R^2 = 0,9795$), que apesar de apresentar três grandes desvios (pontos mais distantes da reta no gráfico), foi o método que, em geral, apresentou menos desvios significativos quando comparado ao método da estufa.

Dessa forma, os métodos Speedy conseguem explicar satisfatoriamente entre 98 e 99% os resultados obtidos em estufa.

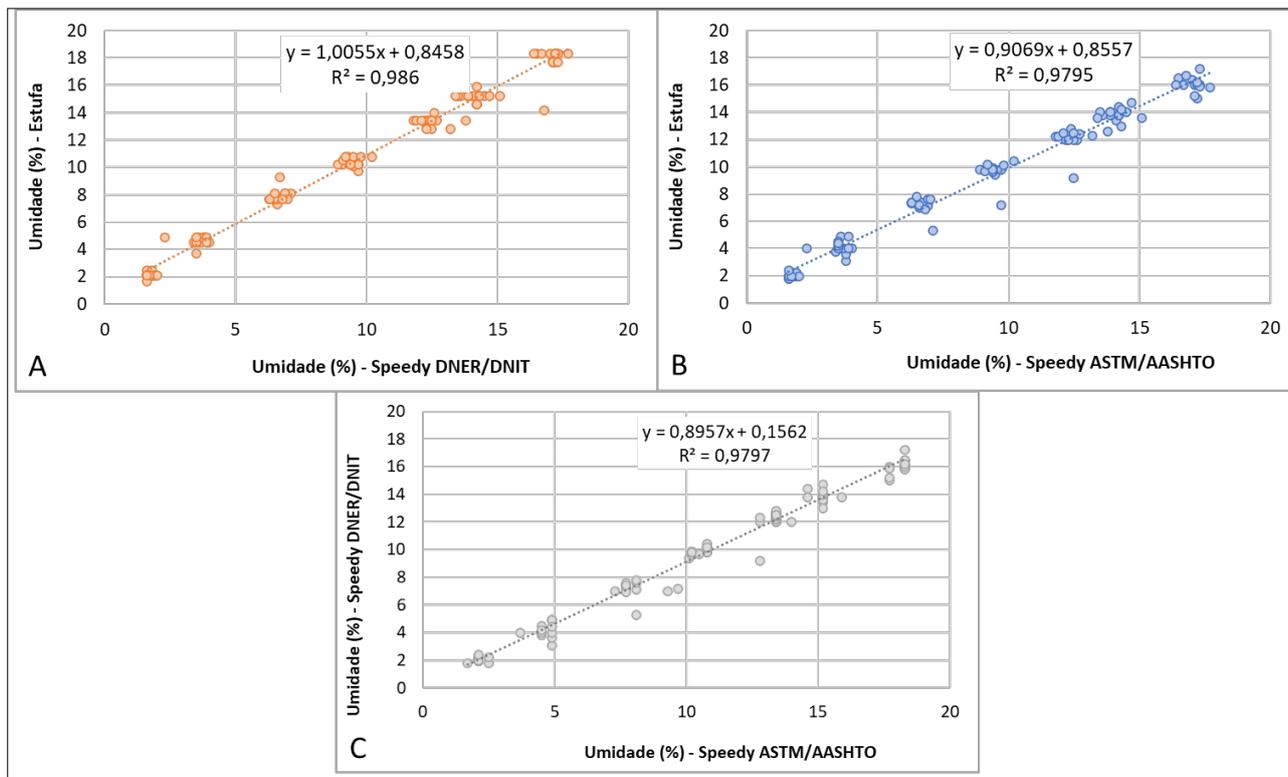


Figura 2: Análises de regressão linear considerando (A) teor de umidade obtido pelo método da estufa *versus* teor de umidade obtido pelo método Speedy DNER/DNIT; (B) teor de umidade obtido pelo método da estufa *versus* teor de umidade obtido pelo método Speedy ASTM/AASHTO; (C) teor de umidade obtido pelo método Speedy DNER/DNIT *versus* teor de umidade obtido pelo método Speedy ASTM/AASHTO.

Diferentemente do observado por Ribeiro et al. (2018), não foi verificada redução na precisão na determinação dos teores de umidade pelos métodos Speedy (DNER/DNIT e ASTM/AASHTO) quando consideradas umidades mais elevadas nas amostras. Neste estudo, o método Speedy ASTM/AASHTO apresentou resultados equivalentes ao método da estufa em amostras com até 15% de umidade.

Ribeiro et al. (2018) obtiveram pelo método Speedy valores de umidade abaixo daqueles determinados pelo método da estufa, o que também se diferencia deste trabalho, já que o método Speedy DNER/DNIT, por exemplo, obteve valores de umidade maiores significativamente para todos os percentuais testados.

4. CONCLUSÕES

O método da secagem em estufa é amplamente empregado em análises geotécnicas para aferição do teor de umidade de materiais. Apesar de sua simplicidade, precisão e confiabilidade, esse método exige um tempo de secagem entre 16 h e 24 h, interferindo, assim, no tempo dispendido no avanço das obras, por exemplo, de terraplanagem. Dentre os ensaios expeditos para a determinação do teor de umidade pode-se destacar o método Speedy.

Nessa pesquisa foram utilizados dois diferentes equipamentos Speedy, baseados nas normas DNER/DNIT e ASTM/AASHTO, para determinação do teor de umidade em amostras de rejeito de minério de ferro.

As amostras utilizadas nessa pesquisa exibiram granulometria homogênea, correspondendo a areia siltosa / silte arenoso. Não foram observadas variações significativas na massa específica das partículas.

De modo geral, considerando a diferença entre os percentuais médios de umidade, notou-se que o método Speedy DNER/DNIT obteve umidade maior que o método de secagem de estufa, enquanto o método Speedy ASTM/AASHTO apresentou variações menores a esse.

Além disso, foi possível observar que à medida em que ocorreu o aumento do percentual de água nas amostras analisadas, houve aumento do desvio padrão associado, mas não de uma forma linear.

Com relação aos desvios absolutos entre as umidades, verificou-se que o método Speedy ASTM/AASHTO apresentou desvios mais baixos, se diferenciando significativamente do método Speedy DNER/DNIT, correspondendo, assim, como melhor opção equivalente ao método da secagem em estufa.

No entanto, alguns aspectos devem ser considerados na utilização do método Speedy, destacando-se: (1) a quantidade limitada de material utilizada no ensaio, que pode não representar adequadamente a massa total e (2) materiais que formam aglomerados resistentes podem dificultar a exposição completa da água disponível ao reagente, resultando em imprecisões.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). Standard Method of Test for Determination of Moisture in Soils by Means of a Calcium Carbide Gas Pressure Moisture Tester T 217-1. Washington, D.C., 2022, 7 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Test Method for Field Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Calcium Carbide Gas Pressure Tester D4944-18, 2018, 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16097 - Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2017, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6457 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2024, 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6457 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2024a, 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2025a, 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17212 – Solos — Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm. Rio de Janeiro: ABNT, 2025b, 12 p.

BERNEY IV, E. S.; KYZAR, J. D.; OYELAMI, L. O. Device comparison for determining field soil moisture content. Engineer research and development center Vicksburg ms geotechnical and structures lab. No. ERDC/GSL-TR-11-42, 62 p., 2012.

CONSOLI, N. C.; VOGT, J. C.; SILVA, J. P. S.; CHAVES, H. M.; SCHEUERMANN FILHO, H. C.; MOREIRA, E. B.; LOTERO, A. Behaviour of Compacted Filtered Iron Ore Tailings–Portland Cement Blends: New Brazilian Trend for Tailings Disposal by Stacking. Appl. Sci. 12, 836, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12020836>.

CORDEIRO, J. S.; ELOI, D. M.; ARAUJO, S.; BRITO, H.; LUZ, J. A. M. Microwave aquametry according to ASTM D4643-17 for moisture determination in iron ore tailings. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.1, p. 5673-5686 jan. 2022.

- COURA, Í. R. Avaliação do processamento de compósitos baseados em polietileno de alta densidade e rejeito de mineração de ferro. (Dissertação de Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 62 p., 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 052/94 – Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”. DNER, 1994, 4 p.
- DIPROSE, M. F. Some considerations when using a microwave oven as a laboratory research tool. *Plant and Soil*, 229, p. 271–280, 2011.
- ESPÓSITO, T.J. Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construída por aterro hidráulico. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 363 p., 2000.
- KRAMARENKO, V. V.; NIKITENKOV, A. N.; MOLOKOV, V. Y.; SHRAMOK, A. V.; POZDEEVA, G. P. Application of microwave method for moisture determination of organic and organic-mineral soils. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 33 012040, 2016a.
- KRAMARENKO, V. V.; NIKITENKOV, A. N.; MATVEENKO, I. A.; MOLOKOV, V. Y.; VASILENKO, Y. S. Determination of water content in clay and organic soil using microwave oven. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 43 012029.
- KUMOR, L. A.; KUMOR, M. K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment. *Transportation Research Procedia* 14, p. 787 – 796, 2016.
- JALILIAN, J.; MOGHADDAM, S. S.; TAGIZADEH, Y. Accelerating Soil Moisture Determination with Microwave Oven. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48 (2), p. 101-103, 2017.
- LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E PAVIMENTAÇÃO (LGP). UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC). Apostila: determinação da umidade do solo, 4 p.
- LITTLE, K. M.; METELERKAMP, B.; SMITH, C. W. A comparison of three methods of soil water content determination. *South African Journal of Plant and Soil*, 15:2, p. 80-89, 1998.
- MOHAMAD, H. M.; ADNAN, Z.; RAZALI, S. N. M.; ZOLKEFLE, S. N. A. Assessment for applicability of microwave oven in rapid determination of moisture content in peat soil. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(3), p. 2110-2118, 2020.
- NAGI, M.; WHITING, D. Determination of Water Content of Fresh Concrete Using a Microwave Oven. *Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGPD*, 16(2), p. 125-131, 1994.
- NOBILE, F., O.; NUNES, H. D.; BALDOCCHI, V. O. Metodologias para a determinação da granulometria do solo. *HOLOS Environment*, v. 14, n. 2, 2014-p. 163, 2014.
- PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, 367 p., 2006.
- RIBEIRO, K. M.; CASTRO, M. H. C.; RIBEIRO, K. D.; LIMA, P. L. T.; ABREU, L. H. P.; BARROS, K. L. C. Estudo comparativo do método padrão da estufa e do método speedy na determinação do teor de água no solo. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* v. 12(1), p. 18-28, 2018.
- TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; GENTELINI, D. P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E. A. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(3), p. 529-538, 2008.
- USMEN, M. A.; KHENG, H. Y. Use of Microwave Oven for Rapid Determination of Moisture Content of Highway Materials in *Transportation Research Record*, 1056, p. 68-75, 1986.