*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/COBRAMSEG2026.6/4**

# Comparação entre Métodos de Saturação de Corpos de Prova em Ensaios de Caracterização Física de Rochas Metavulcanoclásticas

Alice Silva Santos
Engenheira Geóloga, Vale, Belo Horizonte, Brasil, alice.ass.santos@gmail.com

Bárbara Emilly Vieira Firmino e Souza
Engenheira Geóloga, Vale, Belo Horizonte, Brasil, e.barbara@yahoo.com

RESUMO: Este estudo compara dois métodos de saturação aplicados em ensaios de caracterização física de rochas metavulcanoclásticas, com foco nos parâmetros de densidade aparente, absorção aparente e porosidade aparente. O primeiro método combina as recomendações da International Society for Rock Mechanics (ISRM) com a norma NBR 15.845-2, enquanto o segundo segue exclusivamente a NBR 15.845-2. No método ISRM + NBR, os corpos de prova foram submetidos à saturação completa por no mínimo 24 horas, podendo chegar a 48 horas conforme a litologia, seguida de secagem em estufa por até 48 horas para garantir a remoção total da água absorvida. Já o método da NBR 15.845-2 adota saturação em três etapas sucessivas, totalizando 48 horas. Os resultados obtidos em sete corpos de prova indicaram variações inferiores a 0,2% na densidade aparente e entre 0,004% e 0,023% para absorção e porosidade aparente, evidenciando que não há diferenças significativas entre os métodos quando a mesma massa natural é utilizada no cálculo. Ambos os procedimentos são consistentes e atendem às normas vigentes, apresentando vantagens específicas conforme a permeabilidade do material. O estudo reforça que a escolha do método deve considerar características petrográficas e o nível de controle desejado no processo de saturação.

PALAVRAS-CHAVE: Saturação, ISRM, NBR 15.845, Densidade Aparente, Porosidade Aparente.

ABSTRACT: This study compares two saturation methods applied in physical characterization tests of metavolcanoclastic rock specimens, focusing on bulk density, apparent absorption, and apparent porosity. The first method combines recommendations from the International Society for Rock Mechanics (ISRM) with the Brazilian standard NBR 15.845-2, while the second follows NBR 15.845-2 exclusively. In the ISRM + NBR approach, specimens were fully saturated for at least 24 hours—extending to 48 hours depending on lithology—followed by oven drying for up to 48 hours to ensure the complete removal of absorbed water. The NBR 15.845-2 method adopts a three-stage saturation procedure totaling 48 hours. Results obtained from seven specimens showed variations below 0.2% in bulk density and between 0.004% and 0.023% for apparent absorption and apparent porosity, indicating no significant differences between methods when the same natural mass is used for calculations. Both procedures comply with technical standards and provide consistent results, each offering specific advantages depending on material permeability. The ISRM + NBR method may accelerate testing depending on lithology, while the stepwise NBR procedure can enhance saturation efficiency by reducing the likelihood of unsaturated micropores. This study supports methodological standardization in rock mechanics laboratories and highlights that method selection should consider petrographic characteristics and the required level of saturation control.

KEYWORDS: Saturation, ISRM, NBR 15.845, Bulk Density, Apparent Porosity.

## 1 INTRODUÇÃO

A caracterização física de rochas é um componente fundamental em estudos geotécnicos, geomecânicos e tecnológicos. Parâmetros como densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente influenciam diretamente análises estruturais, estimativas de resistência, comportamento mecânico e interpretações

hidrogeológicas (Goodman, 1989; Fjaer et al., 2008). Por se tratar de propriedades dependentes das massas seca, saturada e hidrostática, sua determinação é sensível ao estado de saturação do corpo de prova (ISRM, 2007).

Nesse contexto, laboratórios enfrentam o desafio de padronizar procedimentos de saturação para garantir reprodutibilidade e comparabilidade entre ensaios. A ISRM (2007) recomenda saturação prolongada, tipicamente entre 24 e 48 horas, com secagem rigorosa para remoção completa de água absorvida. Por outro lado, a NBR 15.845-2 (ABNT, 2019) estabelece um método de saturação em três etapas, concebido para melhorar a eficiência da infiltração e reduzir aprisionamento de ar em poros.

Apesar da ampla utilização dessas metodologias, não há consenso sobre qual procedimento oferece maior precisão para amostras com diferentes texturas e permeabilidades. Além disso, na prática laboratorial, a escolha muitas vezes depende de rotinas internas, disponibilidade de equipamentos, prazos de entrega e características particulares da rocha — fatores que podem provocar divergências entre resultados de diferentes laboratórios.

Dessa forma, investigar se esses procedimentos levam a diferenças significativas nos parâmetros medidos é crucial para aperfeiçoar protocolos e orientar a padronização técnica. Ensaios comparativos, como o desenvolvido neste estudo, contribuem para consolidar boas práticas e para ampliar o entendimento sobre a sensibilidade dos ensaios às condições de saturação (ISRM, 2007; ABNT, 2019).

## 2 OBJETIVO

O estudo reforça que a escolha do método de saturação não deve ser feita de forma rígida ou automática, mas sim considerando o tipo de rocha analisada e o grau de controle que o laboratório deseja exercer sobre o processo. Em materiais mais compactos ou com menor permeabilidade, pode ser vantajoso adotar um procedimento mais detalhado, como a saturação em etapas prevista na NBR 15.845-2, que tende a reduzir a presença de ar retido nos poros. Já em rochas mais permeáveis ou quando o tempo de ensaio é um fator relevante, o método combinado ISRM + NBR pode ser suficiente, oferecendo maior agilidade sem comprometer a qualidade dos resultados. Assim, a decisão entre os métodos deve levar em conta tanto as características da amostra quanto as necessidades operacionais do ensaio.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Amostras

Foram analisados sete corpos de prova de rocha metavulcanoclástica, As amostras utilizadas corresponderam ao material disponível no laboratório no período de execução dos ensaios, não havendo seleção prévia direcionada por critérios litológicos. Apesar disso, a condução dos procedimentos seguiu rigorosamente as prescrições técnicas estabelecidas pelas normas aplicáveis (ABNT, 2019; ISRM, 2007).

### 3.2 Métodos desenvolvidos

#### *3.2.1 Método A — ISRM + NBR 15.845-2*

Saturação completa por ≥ 24 h (podendo chegar a 48 h conforme litologia), seguida de secagem em estufa por até 48 h visando à remoção total da água (ISRM, 2007; ABNT, 2019). A extensão do tempo de secagem foi adotada devido à maior densidade de algumas amostras, mitigando água retida em microporos (Deere & Miller, 1966; Fjaer et al., 2008).

#### *3.2.2 Método B — NBR 15.845-2*

Saturação em três etapas:
(i) submersão de 1/3 do corpo por 4 h;
(ii) submersão de 2/3 por 4 h;
(iii) saturação completa por 40 h (ABNT, 2019).
O racional é promover entrada gradual da água, reduzindo aprisionamento de ar e aumentando a eficiência em materiais de baixa permeabilidade (ABNT, 2019; ISRM, 2007).

### 3.3 Parâmetros determinados e cálculo

Em ambos os métodos, ao término da saturação, foram determinadas a densidade aparente (kg/m³), a absorção aparente (%) e a porosidade aparente (%), conforme fórmulas e orientações estabelecidas por ISRM (2007) e ABNT (2019). Para avaliar diferenças entre os métodos, foram calculadas estatísticas descritivas, intervalos de confiança (95%) e teste t pareado, seguindo recomendações clássicas de análise de dados experimentais em mecânica das rochas (Deere & Miller, 1966; Goodman, 1989).

## 4 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as sete amostras ensaiadas, comparando os valores de densidade aparente, absorção aparente e porosidade aparente obtidos pelos dois métodos de saturação: o procedimento combinado NBR 15.845-2 + ISRM (saturação padrão do laboratório) e o método exclusivo da NBR 15.845-2 (saturação escalonada). Cada amostra foi ensaiada pelos dois métodos, permitindo a comparação direta dos parâmetros físicos.

Tabela 1. Resultados obtidos das sete amostras ensaiadas.

| **Amostra** | **Saturação Padrão (RDEN) - NBR15.845 + ISRM** | | | **Saturação Norma (NBR 15.845)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Densidade Aparente (kg/m³) | Absorção Aparente | Porosidade Aparente | Densidade Aparente (kg/m³) | Absorção Aparente | Porosidade Aparente |
| 01 | 2929.988 | 0.020% | 0.020% | 2925.146 | 0.040% | 0.040% |
| 02 | 2943.029 | 0.064% | 0.064% | 2941.210 | 0.041% | 0.041% |
| 03 | 2906.515 | 0.039% | 0.039% | 2903.528 | 0.031% | 0.031% |
| 04 | 2994.498 | 0.040% | 0.040% | 2992.734 | 0.029% | 0.029% |
| 05 | 3049.608 | 0.026% | 0.026% | 3045.675 | 0.037% | 0.037% |
| 06 | 3065.741 | 0.024% | 0.024% | 3062.313 | 0.030% | 0.030% |
| 07 | 2917.265 | 0.043% | 0.043% | 2914.947 | 0.039% | 0.039% |

Os resultados obtidos para densidade aparente, absorção aparente e porosidade aparente apresentaram diferenças numéricas pequenas entre os dois métodos de saturação. Para densidade aparente, a diferença média entre os métodos foi de 3,013 kg/m³, equivalente a aproximadamente 0,10% do valor médio do material. O intervalo de confiança de 95% para essa diferença situou-se entre 1,96 e 4,07 kg/m³.

No caso da absorção aparente e da porosidade aparente, ambas expressas em porcentagem, as diferenças foram ainda menores. A média das diferenças foi de +0,0013 ponto percentual, com intervalo de confiança variando de –0,0122 a +0,0148 p.p., valores compatíveis com o nível de ruído esperado para esse tipo de ensaio (ISRM, 2007).

A análise estatística indicou $p < 0,001$ para as diferenças de densidade aparente e $p = 0,823$ para absorção e porosidade, o que confirma que somente a densidade apresenta diferença sistemática detectável pelos testes, enquanto os demais parâmetros não apresentam diferença estatística entre os métodos (ABNT, 2019; ISRM, 2007).

Esses resultados são também visíveis no gráfico de boxplots (Figura 1). Nos painéis superiores, observa-se que os valores de densidade obtidos pelo método ISRM+NBR apresentam leve deslocamento para valores maiores em relação ao NBR 15.845-2, enquanto absorção e porosidade mostram sobreposição

praticamente completa entre os métodos. Nos painéis inferiores, os boxplots das diferenças (Δ = ISRM+NBR – NBR) mostram que as diferenças de densidade permanecem acima de zero, ao passo que absorção e porosidade oscilam simetricamente em torno desse valor. Assim, o gráfico evidencia a pequena magnitude das diferenças observadas e a forte coerência entre os dois métodos em todos os parâmetros avaliados.

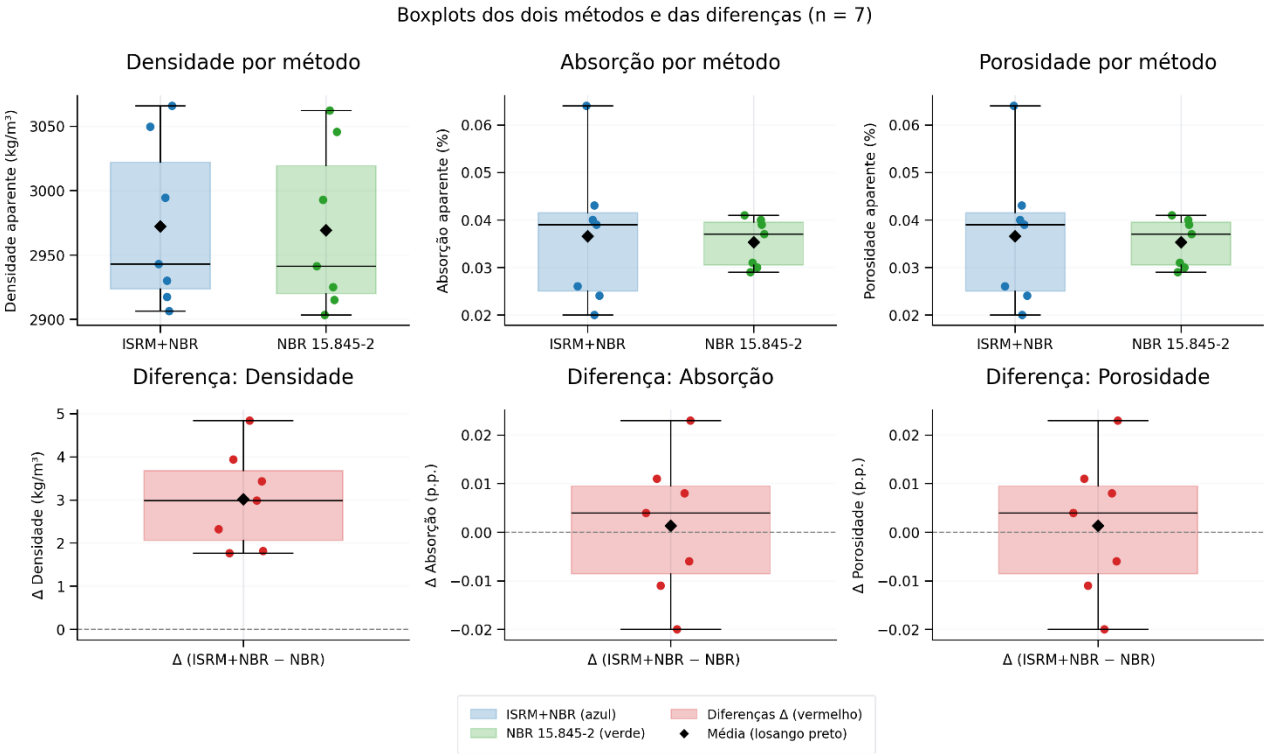



Figura 1: Distribuição dos valores de densidade, absorção e porosidade para os métodos ISRM+NBR e NBR 15.845-2.

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados indicam que os dois métodos de saturação fornecem valores altamente consistentes entre si. A diferença observada na densidade aparente — embora estatisticamente identificável devido à baixa variabilidade interna desse parâmetro — é extremamente pequena e não altera interpretações práticas, corroborando observações clássicas sobre variabilidade de propriedades físicas de rochas (Deere & Miller, 1966; Goodman, 1989).

A proximidade dos resultados de absorção e porosidade sugere que ambos os métodos foram igualmente eficazes em saturar os poros acessíveis da rocha. A variação de apenas milésimos de ponto percentual reforça que qualquer diferença se encontra dentro do ruído experimental esperado para ensaios com água, massa saturada e massa seca (ISRM, 2007).

Do ponto de vista operacional, os dois procedimentos apresentam características complementares. O método ISRM + NBR pode trazer maior agilidade em rotinas laboratoriais, especialmente quando a litologia não apresenta baixa permeabilidade. Por outro lado, o método escalonado da NBR 15.845-2 pode oferecer maior controle da infiltração, reduzindo potenciais bolsões de ar em rochas mais compactas (ABNT, 2019). Assim, a escolha prática do método pode considerar fatores como permeabilidade do material, tempo disponível e padronização interna de cada laboratório.

A convergência entre os métodos demonstra que a saturação, quando conduzida adequadamente, tende a produzir resultados estáveis e reprodutíveis, em consonância com recomendações internacionais sobre caracterização física de rochas (ISRM, 2007; Fjaer et al., 2008).

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os dois métodos de saturação avaliados — o procedimento combinado ISRM + NBR e o método exclusivo da NBR 15.845-2 — são, na prática, equivalentes para a determinação de densidade aparente, absorção aparente e porosidade aparente em rochas metavulcanoclásticas. Embora o teste estatístico tenha indicado uma diferença sistemática na densidade aparente, essa diferença apresentou magnitude extremamente reduzida, em torno de 0,10%, situando-se muito abaixo de qualquer limiar que impactaria interpretação, classificação ou aplicações geotécnicas. Para absorção e porosidade, as diferenças foram ainda menores e estatisticamente indistinguíveis de zero, reforçando que ambos os procedimentos conduzem à mesma condição de saturação dentro do erro experimental esperado.

Esses achados confirmam que, quando executados adequadamente, os dois métodos atendem plenamente às exigências normativas e produzem resultados confiáveis e reproduzíveis. Assim, a escolha entre um procedimento e outro pode ser orientada por critérios de praticidade, tempo disponível, rotinas internas do laboratório ou particularidades da litologia estudada, sem risco de comprometer a qualidade da caracterização física. De modo geral, o método ISRM + NBR tende a oferecer maior agilidade, enquanto a saturação escalonada da NBR pode ser vantajosa em materiais de menor permeabilidade. Em ambos os casos, os parâmetros obtidos demonstraram robustez e coerência, consolidando a conclusão de que os dois métodos são igualmente adequados para ensaios físicos de rochas dentro do escopo considerado neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 158452. Rochas para Revestimento – Determinação das Propriedades Físicas – Parte 2. Rio de Janeiro.

International Society for Rock Mechanics (2007). ASTM D2166: *Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties of Rocks.* In: The ISRM Suggested Methods (Blue Book).

Deere, D. U.; Miller, R. P. (1966) *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock.* Illinois: University of Illinois.

Goodman, R. E. (1989) *Introduction to Rock Mechanics. 2. ed. New York: Wiley.*

Fjaer, E.; Holt, R. M.; Horsrud, P.; Raaen, A.; Risnes, R. (2008) *Petroleum Related Rock Mechanics. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2008.*