

Received:  
April 13, 2022

Accepted:  
April 30, 2024

Published:  
April 30, 2024

## Moisture Content and Specific Mass: Soil Characteristics directly influenced by water

Fabiane Silva Vieira<sup>1</sup> , Caroline Rodrigues Pinto<sup>1</sup> , Lucas da Rocha Rodrigues<sup>1</sup>   
Verônica Karoline Pereira Mendes<sup>1</sup> , Thiago Bomjardim Porto<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Curvelo, Brasil.

### Email address

fabivieiracvo@hotmail.com (Fabiane Silva) – Corresponding author.

carolinerp1998@gmail.com (Caroline Rodrigues)

lucasrochacvo@hotmail.com (Lucas da Rocha)

veronica\_karoline@hotmail.com (Veronica Karoline)

thiago.porto@cefetmg.br (Thiago Bomjardim Porto)

### Abstract

The article discusses the results of the tests carried out in practical form in which they were used to determine the specific mass of the grains ( $\rho_s$ ) and the moisture content of a soil ( $\omega$ ), for this, through stages and laboratory methods, the soil behavior could be analyzed, thus being able to determine these respective values, in order to seek to understand some of the characteristics that the soil physically presents. To determine the specific mass of grains ( $\rho_s$ ) of the soil sample, the method used was the test using the pycnometer method, defined by the Brazilian Regulatory Standard - ABNT NBR 6458, in its Annex B; and to determine the moisture content ( $\omega$ ), the test was performed through the greenhouse, following the Brazilian Regulatory Standard - ABNT NBR 6457, Annex A. Thus, it was possible to analyze with good reliability the results obtained in these trials, which through three achievements, especially because they were performed at different duration times, thus being possible to perceive that the values for these specific mass determinations of grains ( $\rho_s$ ) and moisture content ( $\omega$ ), are practically the same, regardless of the time used in some stages or in the exclusion of some of them, being the amount of water, the factor directly linked to these characteristic points that were analyzed.

**Keywords:** Specific gravity of grains, Moisture, Soil, Test, Soil Mechanics.

## 1. Introdução

O solo é um material de grande abundância em nosso planeta, tendo este vindo a partir da decomposição de rochas, devido à ação do intemperismo interno e externo e de diversos fatores físicos e químicos que agem na desagregação da rocha, levando assim, a composição de partículas que compõem e formam os diversos solos existentes em nosso planeta.

O solo é uma mistura heterogênea de elementos que podem ser percebidos por meio das porcentagens variadas de água, ar e grãos sólidos de solo, podendo estes ser finos ou granulares, apresentando partículas das mais variadas formas, sendo, pois, um material heterogêneo, com diferentes características e

propriedades, que fazem de cada solo e em cada porção serem únicos.

Conhecer e compreender como é o solo e suas características são algo de extrema importância e necessidade para uma boa execução de um projeto, visto que este é a base para que qualquer obra/construção seja implantada. Além do fato que, é preciso que haja uma análise do solo a ser considerado, a fim de que se consiga saber o quanto este consegue suportar de carga e peso, sem que haja ruptura de sua estrutura, trazendo trágicas consequências. O presente artigo descreve os procedimentos e a metodologia empregada para realização dos ensaios para a determinação da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) pelo método picnômetro e determinação do teor de umidade ( $\omega$ ) pelo método da estufa.

A massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) de um solo é o valor médio da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) do solo, sendo esta a relação entre a sua massa total ( $M_t$ ) e o seu volume total ( $V_t$ ), incluindo-se o peso da água existente em seus vazios e o volume de vazios do solo. A massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) é um dado necessário para a determinação da relação de vazios que o solo apresenta e outros índices físicos do solo, e também para o ensaio de sedimentação. Sua base de entendimento tem como fundamentação teórica o princípio de Arquimedes, segundo o qual um corpo submerso num líquido desloca um volume deste igual ao volume do próprio corpo (NBR-6508 - Determinação da Massa Específica de Grãos de Solos).

A água desempenha papel importante no comportamento dos solos, principalmente nos solos de granulação fina. Deste modo, a quantidade de água em contato com o solo pode provocar modificações em suas propriedades como na plasticidade das argilas; sua diminuição da resistência ao cisalhamento, por saturação; sua contração, por secagem e na sua facilidade de compactação.

A umidade do solo ( $\omega$ ) ou teor em água é definida como a massa da água ( $M_w$ ) contida em uma amostra de solo dividido pela massa de solo seco ( $M_s$ ), sendo expressa em quilogramas de água por quilogramas de solo, multiplicando-se por 100, para obter-se em porcentagem o teor de umidade ( $\omega$ ) que este solo apresenta.

A pesquisa tem como aspecto particular a redução do tempo que a amostra ficou em agitação no copo de dispersão e na redução no tempo em que esta ficou sobre pressão na bomba de vácuo, na qual foram realizados três ensaios com variações de tempo e em uma delas a omissão de algumas etapas, sendo o uso da bomba de vácuo e do corpo de dispersão.

Os ensaios foram realizados conforme referências normativas, apenas o tempo que a amostra ficou em agitação no copo de dispersão e o tempo em que a amostra ficou sobre pressão na bomba de vácuo foram alterados para fins de estudo da influência causada no resultado final.

Para um melhor entendimento do ensaio a ser realizado é apresentado um fluxograma metodológico (Figura 1) do seu processo de realização.

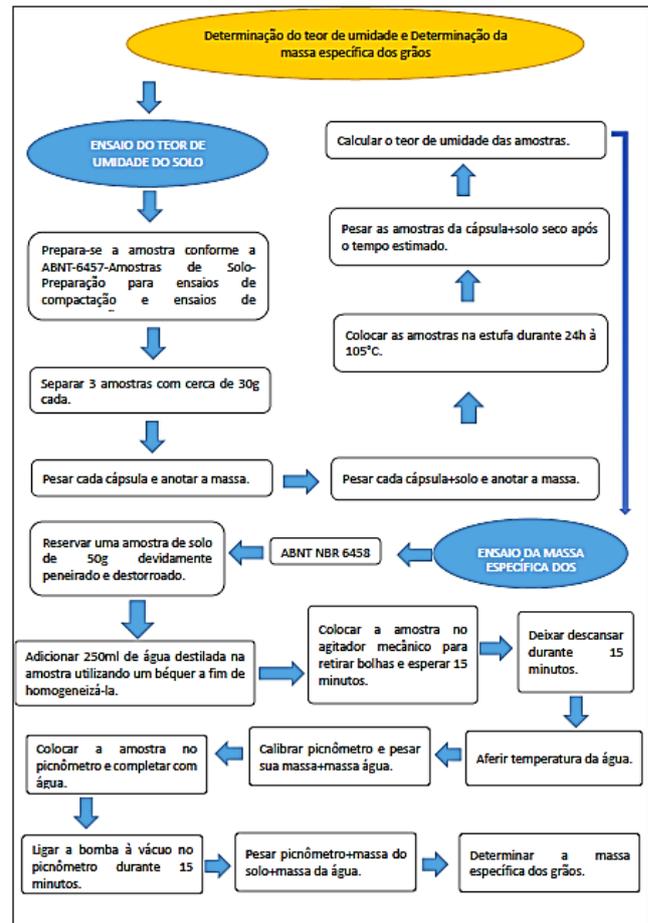


Figura 1 – Fluxograma de determinação da massa específica dos grãos e seu teor de umidade.

## 2. Metodologia

Coletou-se uma amostra deformada a partir de uma raspagem ou escavação realizada em campo no CEFET-MG Unidade Curvelo, de acordo com a ABNT NBR 9604, onde a mesma foi transportada para o laboratório e preparada adequadamente para fins de caracterização. A partir dessa amostragem, foram realizados os estudos de teor de umidade do solo ( $\omega$ ), conforme a ABNT NBR 6457 e de massa específica dos grãos do solo ( $\rho$ ), segundo a ABNT NBR 6458.

### 2.1. Teor de Umidade ( $\omega$ )

A umidade ( $\omega$ ) de um solo é definida como sendo a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume, expressa em porcentagem, conforme a Equação 1:

$$\omega = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

O cálculo do teor de umidade ( $\omega$ ) é efetuado dividindo-se a massa da água contida na amostra de solo pela massa seca das partículas sólidas do solo, sendo expresso em porcentagem. Sua fórmula também pode ser expressa na Equação 2:

$$\omega = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_2 - M_3)} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$\omega$  = teor de umidade (%)

$M_1$  = massa inicial da cápsula com o solo naturalmente úmido (g)

$M_2$  = massa inicial da cápsula com o solo após a secagem (g)

$M_3$  = massa da cápsula vazia (g)

O teor de umidade ( $\omega$ ) foi determinado em um ensaio laboratorial, por meio do método de Estufa, esse é um método tradicional e com grande precisão. Sua determinação é simples, basta relacionar a massa do solo em seu estado natural e a massa após completa secagem com estufa entre 105°C e 110°C por um período que varia entre 6hs a 24hs dependendo do tipo do solo, suas etapas se relacionam como expresso na figura 2.

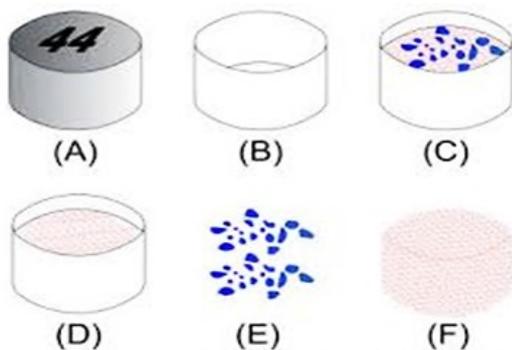


Figura 2 – Etapas do ensaio para determinar o teor de umidade ( $\omega$ ) (SANTOS, 2020).

Segundo a NBR 6457/2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação caracterização, o ensaio de procedimento para execução consiste resumidamente em:

- Tomar uma quantidade do material, destorroar sem que haja perda de umidade deixando em estado fofo, por conseguinte, colocar em cápsulas metálicas (Figura 3).



Figura 3 – Peneiramento e tomada da amostra do solo.

- Efetuar pesagem do conjunto e anotar o valor obtido, como  $M_1$  (Figura 4).



Figura 4 – Pesagem da amostra do solo.

- Levando a cápsula em estufa a uma temperatura de 105 °C a 110 °C onde deve permanecer em um intervalo necessário a secagem do material (até apresentar constância de massa). O tempo depende do tipo e quantidade do solo podendo variar entre 16 e 24 horas. (Figura 5).



Figura 5 – Amostras do solo sendo colocadas na estufa.

- Retirar a cápsula da estufa e efetuar nova pesagem e anotar o valor obtido, como  $M_2$ .

- Efetuar no mínimo três determinações do teor de umidade por amostra

## 2.2. Determinação Da Massa Específica ( $\rho_s$ )

A massa de um corpo é a medida da quantidade de matéria que o constitui, define-se

como massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) ou dos sólidos que constituem a relação entre a massa das partículas ou de sólidos ( $M_s$ ) de um solo e o volume ( $V_s$ ) ocupado por elas, conforme a Equação 3 descreve:

$$\rho = \frac{M_s}{V_s} \quad (3)$$

Os valores da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) são expressos em unidades de massa por volume, tais como:  $\text{kg/m}^3$  no SI,  $\text{g/cm}^3$  na unidade Gaussiana,  $\text{t/m}^3$  em outros sistemas de unidade e  $\text{M/L}^3$  no sistema de unidade dimensional.

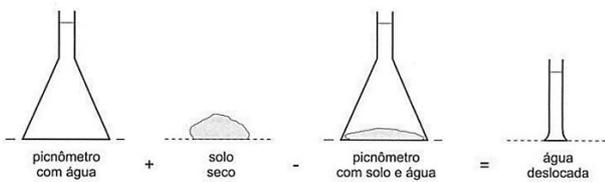


Figura 6 – Etapas para se determinar a massa específica dos grãos pelo método do picnômetro (Pinto, 2006).

Esse ensaio apresenta como meta determinar a massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) das partículas que constituem o solo, sem levar em consideração a sua porosidade, de forma que a norma estipulou para realizar esse ensaio o uso da massa de solo que passa na peneira de 4,8 mm, seguiu-se os seguintes passos segundo pede a norma ABNT NBR 6458:

- Finalizada a coleta da amostra deformada, transportou-a para o laboratório e em seguida preparou as amostras de solo para os ensaios de caracterização.

- Assim, utilizamos o processo de secagem da amostra ao ar até próximo da umidade hidrocópica.

- Posteriormente, colocou-se o solo no almofariz e com o auxílio de uma mão de gral foi destorroado em pequenas quantidades, a fim de homogeneizar (Figura 7).



Figura 7 – Destorração da amostra do solo.

- Em seguida, passou-se o solo pelo quarteado para obtenção da amostra final e pela peneira 4,75mm.

- Pesou-se o béquer vazio e com a amostragem de 50,90g, considerando esse dado como  $M_1$  (Figura 8).



Figura 8 – Amostra do solo para o ensaio.

- Posteriormente, acrescentou-se 250ml de água destilada a fim de diluir a amostra e deixá-la em repouso durante 1 minuto (Figura 9).



Figura 9 – Diluição da amostra de solo.

- Transferiu-se a amostra diluída para o dispersor de solos, acrescentou-se água destilada até metade do volume do copo e homogeneizou-se toda amostra contida, ficando durante 1 minuto (Figura 10).



Figura 10 – Amostra do solo no dispersor de solos.

- Pesou-se o picnômetro vazio e cheio de água até a marca de referência, considerando esse dado como  $M_3$  (Figura 11).



Figura 11 – Pesagem do picnômetro com água.

- Transferiu então a amostra do dispersor para o picnômetro vazio, com o auxílio de um funil de vidro, retirando todo o excesso de solo retido no dispersor utilizando água destilada, a fim de evitar perda de material durante o experimento (Figura 12).



Figura 12 – Introdução da amostra de solo no picnômetro.

- Acrescentou-se água destilada até a marca de referência.

- Para a remoção total do ar aderente às partículas, colocou-se o picnômetro na bomba de vácuo durante 1 minuto (Figura 13).



Figura 13 – Amostra de solo na bomba de vácuo.

- Acrescentou-se água destilada até 1 cm abaixo da marca de referência.

- Retornando o picnômetro à bomba de vácuo por mais 1 minuto.

- Pesou o conjunto picnômetro + água + solo, considerando esse dado como  $M_2$  (Figura 14).



Figura 14 – Pesagem da mistura com o picnômetro.

- Aferiu a temperatura da mistura com o termômetro (Figura 15).



Figura 15 – Aferição da temperatura da mistura.

- Anotou-se todos os valores obtidos na tabela e foram realizados seus respectivos cálculos.

### 2.3. Variações Realizadas Neste Ensaio

Este ensaio, foi realizado utilizando três métodos para compor sua completa metodologia, simultaneamente, porém com algumas alterações durante o procedimento, de modo que façamos uma análise e comparações entre estes ensaios executados.

#### 2.3.1 Método I

O primeiro ensaio foi realizado com a mesma metodologia, porém neste ensaio, não foi realizado o tempo de espera, nem utilizado o dispersor de solos e nem a bomba à vácuo, de acordo com a Figura (16.)



Figura 16 – Fluxograma de determinação da massa específica dos grãos com o primeiro método.

### 2.3.2 Método II

O segundo ensaio, foi realizado na metodologia apresentada neste artigo, com o todas as etapas sendo realizadas, porém com o tempo de 1 minuto para a realização de cada uma dessas etapas, na utilização do dispersor de solos e da bomba à vácuo, seguindo o descrito na Figura (17).

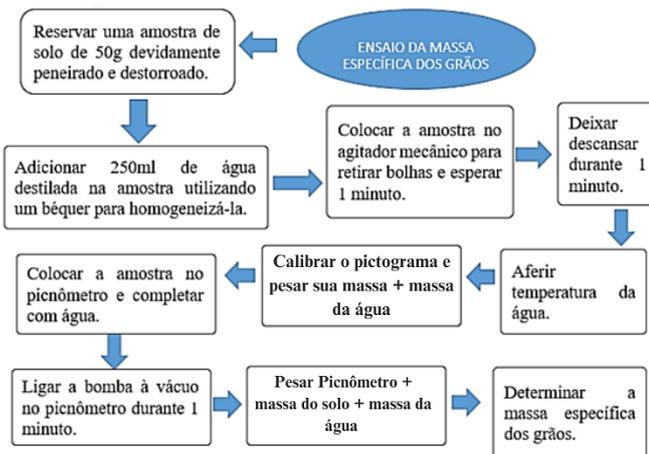


Figura 17 – Fluxograma de determinação da massa específica dos grãos com o segundo método.

### 2.3.3 Método III

O terceiro ensaio foi realizado seguindo a metodologia deste arquivo, com o tempo de etapas conforme pedido na norma da ABNT NBR 6458, na qual se foi colocado 15 minutos a mistura de solo e água no copo dispersor, além de 15 minutos na primeira etapa da mistura na bomba a vácuo, e mais

15 minutos na segunda etapa da mistura na bomba a vácuo (Figura 18).

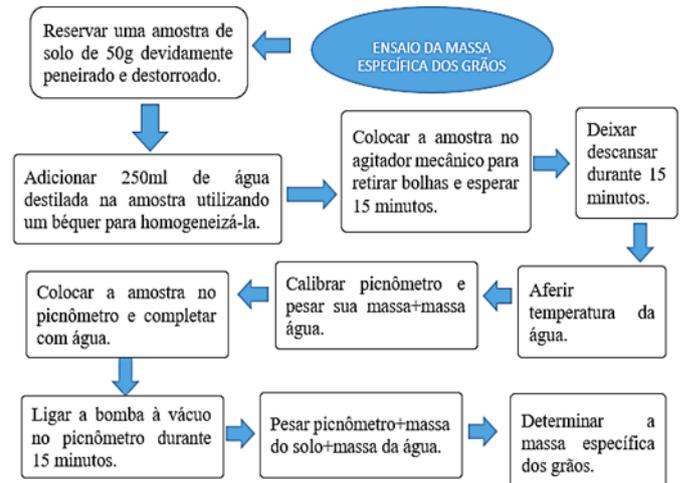


Figura 18 – Fluxograma de determinação da massa específica dos grãos com o terceiro método.

## 3. Resultados e Análises

### 3.1 Teor de umidade do solo ( $\omega$ )

Após a coleta de dados e o tempo de estufa, os resultados obtidos foram organizados na Tabela (1). A partir de então, efetuou-se os cálculos para as três amostras em questão, utilizando a Equação (2), para determinar o teor de umidade, conforme consta na tabela.

Tabela 1 – Resultados do teor de umidade das amostras do solo analisadas.

CN: Cápsula Número; MC: Massa da Cápsula; MCU: Cápsula + solo Úmido; CSS: Cápsula + solo seco; MA: Massa da Água; MSS: Massa do solo seco; TU: Teor de Umidade.

CN	MC(g)	CSU(g)	CSS(g)	MA (g)	MSS (g)	TU
10	6,85	17,53	17,39	0,14	10,54	1,33%
23	6,04	17,72	17,56	0,16	11,52	1,39%
32	6,88	17,8	17,64	0,16	10,76	1,49%

A partir destes resultados foi calculado a média destes valores. Deste modo, o teor de umidade ( $\omega$ ) médio dessa amostra de solo é de 1,40%.

### 3.2. Dados encontrados para a determinação da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ )

A determinação da massa específica é de suma importância, pois trará também o resultado da

densidade que o material possui. Desta forma para realizar seu cálculo, primeiramente é preciso coletar alguns dos respectivos dados, ilustrados na Tabela (2), para determinar a massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) de um solo.

Tabela 2 – Relação de dados para os cálculos de massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ).

Relação de dados para cálculos
<b>M<sub>1</sub></b> - massa do sólido
<b>M<sub>2</sub></b> - massa do picnômetro + água + solo
<b>M<sub>3</sub></b> - massa do picnômetro + água

Com a coleta desses dados, foi efetuado o cálculo para adquirir o valor da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) deste solo, para determinar este valor, seguiu-se a Equação 3:

$$\rho = \frac{\frac{M_1 \times 100}{100 + \omega}}{\frac{M_1 \times 100}{100 + \omega} + M_3 - M_2} \times \rho_\omega \quad (3)$$

A Equação 3, também pode ser escrita da seguinte maneira, conforme a Equação 4:

$$\rho = \frac{M_1}{M_1 + M_3 - M_2} \times \rho_\omega \quad (4)$$

Após a realização dos cálculos estabelecidos, para a determinação da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) e também para determinar o peso específico dos grãos ( $\gamma_s$ ), que é a massa específica multiplicado por 10, sendo esta, a aceleração da gravidade. A partir de então, encontramos os seguintes resultados para os 3 métodos realizados neste ensaio (Tabela 3).

Tabela 3 – Massa Específica e Peso Específico.

Ensaio	Massa Específica dos grãos ( $\rho_s$ ) em g/cm <sup>3</sup>	Peso Específico dos grãos ( $\gamma_s$ ) em KN/m <sup>3</sup>
Método 1	2,668	26,68
Método 2	2,667	26,67
Método 3	2,663	26,63

A partir desses dados, é possível perceber que a determinação da massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) foi praticamente a mesma nos três ensaios propostos. Na qual no Ensaio 1, foi se determinado a massa específica do solo sem o uso do dispersor de solos e da bomba de vácuo; já no Ensaio 2, foi

realizado todos os procedimentos, porém com tempo de uso do dispersor e da bomba a vácuo em 1 minuto; e no Ensaio 3 foi efetuado como a norma solicita com 15 minutos para o dispersor e 15 minutos em cada fase da bomba de vácuo.

#### 4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados encontrados com a realização do ensaio de determinação da massa específica, no qual foram seguidos os métodos descritos na ABNT NBR 6458 foi possível a comparação dos resultados encontrados com os parâmetros estabelecidos na literatura clássica utilizada. Ao comparar os valores encontrados para massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) do solo, no Método 1 de 2,668 g/cm<sup>3</sup>, no Método 2 de 2,667g/cm<sup>3</sup> e no Método 3 de 2,663g/cm<sup>3</sup>, pode-se observar que todos os resultados condizem aproximadamente com a massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ) dos grãos de solo (2,65 g/cm<sup>3</sup> a 3,00 g/cm<sup>3</sup>). O que ocasionou em chegar-se à conclusão de que, o valor da massa específica está diretamente relacionado à quantidade de água e ao solo utilizado no experimento, do que com o tempo de algumas etapas de procedimentos como o da bomba a vácuo e do dispersor de solos. Pois mesmo sem a sua utilização da bomba de vácuo e do dispersor, o resultado do Ensaio 1 se manteve dentro dos padrões aceitáveis. Este ensaio é importante para fins de análise da estrutura do solo, informando sobre sua resistência e estabilidade.

No ensaio referente a determinação do teor de umidade ( $\omega$ ) definido pela ABNT NBR 6457 em que o valor de  $\omega$  deve exprimir resultado aproximado a 0,1%, foi encontrado através dos cálculos o valor de 1,40% para a umidade média, o que significa aproximadamente o valor requerido na literatura. Essa determinação possibilita que o Engenheiro Civil possa determinar o traço correto e a quantidade de água considerando a umidade já apresentada no agregado naturalmente, além de especificar que tipo de fundação será apropriada em determinado tipo do solo.

Deve-se considerar que os resultados podem ter sido influenciados por vários fatores como: erros na realização dos procedimentos e preparação das amostras que desencontram das condições especificadas nas NBR's 6457/2016 e 6458/2016; falhas nos momentos de tara da balança; acúmulo de material na peneira; erros na leitura dos valores de peso, aferição da temperatura da água e tempo de

permanência na estufa; imprecisão dos aparelhos como balança e picnômetro, podendo não estar calibrados corretamente; além de perda de material no manuseio e erros na quantidade de água utilizada no caso do experimento de determinação de massa específica.

Sendo assim, constata-se que os valores encontrados nos dois procedimentos não obtiveram grandes desvios e, portanto, a redução do tempo ou eliminação de utilização dos aparelhos não afetou significativamente o resultado final. Percebendo assim que os erros humanos são os que realmente influenciam de forma mais significativa, visto que quanto maior o tempo de manuseio humano maior serão as fontes de erro e, portanto, mais propício a resultados insatisfatórios.

## 5. Agradecimentos

Em primeiro lugar, deixamos nosso agradecimento a Deus, nos deu força para vencermos esta etapa de nossas vidas. Também deixamos nossos agradecimentos ao Doutor e Professor Thiago Bomjardim Porto, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com grande dedicação e amizade. Aos integrantes da equipe, por compartilharem tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso. À instituição de ensino CEFET-MG Campus Curvelo, por terem disponibilizado toda a infraestrutura necessária para a realização deste ensaio.

## Referências

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas, 2016. *NBR 6457/2016- Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas, 2016. *NBR 6458/2016 - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT.

Almeida, G.C., 2005. *Caracterização Física e Classificação dos Solos*. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Departamento de Transportes. Disponível em:

<<https://encurtador.com.br/qwACU>> [Acessado 10 fevereiro 2022].

Caputo, H.P. e Caputo, A.N., 2015. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC.

DOCSITY, 2020. *Determinação da massa específica natural do solo*. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/determinacao-da-massa-especifica-natural-do-solo/5320421/> [Acessado 27 junho 2022].

Duarte, N., 2014. *Aula 4: Mecânica dos solos*. Disponível em: <<https://edificacoesjt.files.wordpress.com/2014/09/aula-5-c3adndices-fc3adsicos-alunos.pdf>> [Acessado 10 fevereiro 2022].

Klamt, R.A., Suleiman, G.K.A., Rodrigues, R.E. e Baroni, M., 2012. Determinação das Massas Específicas dos Grãos de um Solo Arenoso Melhorado Quimicamente com Cimento, Cal e Cinza da Casca de Arroz. In: *Anais do 4º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA*, 4(2). Disponível em: <<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/60293>> [Acessado 10 fevereiro 2022].

Krähenbühl, M.P. e Albuquerque, P.J.R., 2020. *Determinação da Massa Específica dos Sólidos*. Disponível em: <<https://www.fec.unicamp.br/~pjra/wp-content/uploads/2020/01/25-M%C3%A9todo-alternativo-para-determina%C3%A7%C3%A3o-da-massa-espec%C3%ADfica-dos-s%C3%B3lidos-%E2%80%93-COBRAMSEG-%E2%80%93-2008.pdf>> [Acessado 20 maio 2022].

Lagetec – Laboratório de Geotécnica e Prospecção, 2017. *Determinação da densidade real em solos*. Universidade Federal do Ceará. Centro de ciências. Departamento de Geologia. Disponível em: <<http://www.lagetec.ufc.br/wp-content/uploads/2017/07/Determina%C3%A7%C3%A3o-da-densidade-real-em-solos1.pdf>> [Acessado 18 maio 2022].

Pinto, C.S., 2006. *Curso básico de mecânica dos solos: em 16 aulas*. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Santos, J.N.B., 2020. *Determinação da umidade do solo*. Laboratório de Geotecnia e Pavimentação - LGP/CCT. UDESC. Disponível em: <[https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/1036/Apostila\\_Umidade\\_dos\\_solos\\_15816259409124\\_1036.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1036/Apostila_Umidade_dos_solos_15816259409124_1036.pdf)>. [Acessado 20 abril 2024].