

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO DO TEOR DE UMIDADE DE SOLOS E  
AREIAS PELOS MÉTODOS *SPEEDY TEST*, TERMOGRAVIMÉTRICO,  
FRIGIDEIRA E MICRO-ONDAS**

**AMANDA CRISTINA NASCIMENTO**

**LAVRAS-MG**

**2022**

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



**AMANDA CRISTINA NASCIMENTO**

**ESTUDO COMPARATIVO DO TEOR DE UMIDADE DE SOLOS E  
AREIAS PELOS MÉTODOS *SPEEDY TEST*, TERMOGRAVIMÉTRICO,  
FRIGIDEIRA E MICRO-ONDAS**

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Lavras, como parte das  
exigências do curso de graduação em  
Engenharia Civil.

**ORIENTADORA**

Prof<sup>a</sup>. Me. Flávia Castro de Faria

**CONVIDADO**

Prof. Me. Hafez Tadeu Sadi Júnior

**PRESIDENTE DA BANCA**

Prof<sup>a</sup>. Esp. Gabriela Bastos Pereira

**LAVRAS-MG**

**2022**

Ficha Catalográfica preparada pelo Setor de Processamento Técnico  
da Biblioteca Central do UNILAVRAS

N244e Nascimento, Amanda Cristina.  
Estudo comparativo do teor de umidade de solos e areias pelos  
métodos Speedy Test, termogravimétrico, frigideira e micro-ondas /  
Amanda Cristina Nascimento. – Lavras: Unilavras, 2022.  
69 f.:il.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Unilavras  
Lavras, 2022.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Flávia Castro de Faria.

1. Padronização. 2. Determinação. 3. Umidade. 4. Agregado  
miúdo. I. Faria, Flávia Castro de (Orient.). II. Título.

UNILAVRAS

Centro Universitário de Lavras

www.unilavras.edu.br



**AMANDA CRISTINA NASCIMENTO**

**ESTUDO COMPARATIVO DO TEOR DE UMIDADE DE SOLOS E  
AREIAS PELOS MÉTODOS SPEEDY TEST, TERMOGRAVIMÉTRICO,  
FRIGIDEIRA E MICRO-ONDAS**

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Lavras, como parte das  
exigências do curso de graduação em  
Engenharia Civil.

Aprovado em 08 / 04 / 22

---

**ORIENTADORA**

Prof<sup>a</sup>. Ms. Flávia Castro de Faria  
Representada por Prof. Dr. Alan Pereira Vilela

---

**CONVIDADO**

Prof. Me. Hafez Tadeu Sadi Júnior

---

**PRESIDENTE DA BANCA**

Prof<sup>a</sup>. Esp. Gabriela Bastos Pereira

**LAVRAS-MG**

**2022**

**UNILAVRAS**

**Centro Universitário de Lavras**

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



*Dedico este trabalho à minha mãe Silvânia por sempre acreditar em mim, nos meus sonhos e nunca me deixar desistir deles. O seu carinho e cuidado foi o que me deram força e esperança para seguir.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter estado ao meu lado em cada instante e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos ao longo deste percurso. A minha gratidão será infinita para com Ele.

À minha mãe, Silvânia, que esteve comigo em todos os momentos, por sempre acreditar nos meus sonhos e nunca me deixar desistir. Agradeço por todo esforço, dedicação, por todo apoio e confiança. Agradeço pelos abraços que me confortaram nos momentos que o desespero aparecia. Obrigada por renunciar muitas das vezes dos seus sonhos, para que o meu se tornasse possível.

Ao meu pai, Milton, por todo carinho, apoio e incentivo. Agradeço por se preocupar e estar sempre disposto a me ajudar. Seja por me acompanhar na busca por materiais para os meus projetos ou nas noites preocupado se havia chegado bem após a aula.

À minha irmã, Maiza, pela amizade e cumplicidade. Agradeço por sempre estar ao meu lado, por ser minha companheira e amiga desde quando éramos pequenininhas.

Aos meus avós, Terezinha e José, por todas as orações, pelas palavras de motivação, por todo amor, carinho e cuidado.

Ao meu namorado pelo seu companheirismo e pela capacidade de me trazer paz durante cada semestre.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Me. Flávia Castro de Faria, pelo suporte, orientação e incentivo. Agradeço pelas oportunidades, ensinamentos e pela parceria ao longo dos últimos anos.

Ao técnico administrativo, Hederson Vilela, pela ajuda e suporte durante o desenvolvimento do projeto.

À FAPEMIG por ter me proporcionado a oportunidade de estar desenvolvendo a pesquisa.

Ao Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS, ao corpo docente por todos os ensinamentos e aos demais colaboradores da instituição.

**UNILAVRAS**

**Centro Universitário de Lavras**

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



*“A persistência é o menor caminho do êxito.”*

Charles Chaplin

(1889-1977)

## **RESUMO**

O teor de umidade indica a porcentagem de água presente no material. Sua determinação para os solos e areias é de grande importância para a construção civil, principalmente no ramo da Geotecnia e de Materiais de Construção Civil. Na compactação do solo, ao conhecer a porcentagem de água presente, é possível saber se o solo está próximo ou não de sua umidade ótima de compactação. Já para as areias, o agregado miúdo mais utilizado na construção civil, também é importante conhecer a sua umidade, pois esta umidade presente no agregado deve ser descontada da água do traço de concretos e argamassas. Outro fenômeno decorrente da presença de água nas areias é o inchamento, onde ocorre o aumento volumétrico da areia. Caso essa análise não seja feita, os concretos e argamassas podem ficar com mais água do que a quantidade determinada no traço ou, até mesmo, com a quantidade de areia diferente do traço e ter como consequência várias patologias como perda da resistência e exsudação. Atualmente existem três métodos normativos para a obtenção do teor de umidade: *Speedy Test*, Termogravimétrico e Frigideira. Outra maneira de determinar o teor de umidade é com o auxílio de um forno Micro-ondas para secar a amostra, porém este método ainda não tem uma padronização normativa. Apesar de, ainda não possuir esta padronização sabe-se que o tempo de secagem será inferior ao método termogravimétrico (24 horas) sendo assim uma opção mais rápida para a determinação do teor de umidade. Visando verificar a eficácia do Método Micro-ondas e compará-lo com os outros três métodos que já possuem referências normativas, este trabalho tem como o objetivo analisar a umidade de quatro diferentes materiais através dos quatro métodos supracitados permitindo assim, uma comparação entre os quatro e a padronização para a determinação do teor de umidade com o forno micro-ondas, que ainda não possui uma padronização normativa. Após a finalização dos ensaios, o método do Micro-ondas, mostrou-se uma excelente alternativa para a determinação do teor de umidade de solos e areias quando comparado aos demais métodos que possuem referências normativas.

**Palavras-chave:** Padronização, Determinação, Umidade, Agregado miúdo.

## **ABSTRACT**

The moisture content indicates the percentage of water present in the material. Its determination for soils and sands is of great importance for civil construction, especially in the field of Geotechnics and Civil Construction Materials. In soil compaction, by knowing the percentage of water present, it is possible to know whether or not the soil is close to its optimal compaction moisture. As for sand, the fine aggregate most used in civil construction, it is also important to know its moisture content, as this moisture present in the aggregate must be deducted from the water in the mix of concrete and mortar. Another phenomenon resulting from the presence of water in the sands is the swelling, where the volumetric increase of the sand occurs. If this analysis is not carried out, the concrete and mortar may have more water than the amount determined in the mix or, even, with the amount of sand different from the mix, resulting in various pathologies such as loss of strength and exudation. There are currently three normative methods for obtaining the moisture content: Speedy Test; Thermogravimetric and Frying Pan. Another way to determine the moisture content is with the aid of a microwave oven to dry the sample, but this method still does not have a normative standard. Despite not having this standardization yet, it is known that the drying time will be shorter than the thermogravimetric method (24 hours), thus being a faster option for determining the moisture content. In order to verify the effectiveness of the Microwave Method and compare it with the other three methods that already have normative references, this work aims to analyze the humidity of four different materials through the four aforementioned methods, thus allowing a comparison between the four and the standardization for the determination of the moisture content with the microwave oven, which still does not have a normative standardization. After completing the tests, the microwave method proved to be an excellent alternative for determining the moisture content of soils and sands when compared to other methods that have normative references.

**Keywords:** Standardization, Determination, Humidity, Fine Aggregate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Limites de Atterberg .....	19
Figura 2 - Inchamento da areia com diferentes teores de umidade .....	20
Figura 3 - Aparelho Speedy Test.....	23
Figura 4 - Secagem em estufa das amostras de solo e areias.....	29
Figura 5 - Amostras de solo e areias após a secagem em estufa .....	29
Figura 6 - Homogeneização da amostra de solo .....	30
Figura 7 - Homogeneização da amostra de areia fina.....	31
Figura 8 - Identificação das cápsulas metálicas .....	32
Figura 9 - Pesagem da cápsula metálica .....	32
Figura 10 - Conjunto cápsula + solo úmido .....	33
Figura 11 - Amostras na estufa .....	33
Figura 12 - Amostra de solo colocada no dessecador .....	34
Figura 13 - Conjunto cápsula + solo seco .....	34
Figura 14 - Balança de Arquimedes .....	36
Figura 15 - Leitura do manômetro .....	37
Figura 16 - Tabela do fabricante SoloCap.....	38
Figura 17 - Pesagem da frigideira vazia .....	39
Figura 18 - Pesagem solo úmido + frigideira .....	40
Figura 19 - Secagem da amostra de solo.....	41
Figura 20 - Pesagem do solo após a secagem .....	41
Figura 21 - Pesagem do cadinho vazio .....	43
Figura 22 - Pesagem do solo úmido + cadinho .....	43
Figura 23 - Micro-ondas ajustado em potência máxima .....	44
Figura 24 - Pesagem do solo após a secagem .....	45
Figura 25 - Quantidade de carbureto de cálcio presentes nas ampolas .....	62

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Relação entre o teor de umidade e os métodos aplicados para a areia fina .....	59
Gráfico 2 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para a areia média.....	60
Gráfico 3 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para a areia grossa.....	60
Gráfico 4 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para o solo.....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do tamanho das partículas .....	18
Quadro 2 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia fina.....	46
Quadro 3 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia fina.....	46
Quadro 4 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia grossa.....	47
Quadro 5 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de solo.....	47
Quadro 6 - Resultados do ensaio pelo Método <i>Speedy Test</i> para a amostra de areia fina .....	48
Quadro 7 - Resultados do ensaio pelo Método <i>Speedy Test</i> para a amostra de areia média.....	48
Quadro 8 - Resultados do ensaio pelo Método <i>Speedy Test</i> para a amostra de areia grossa.....	48
Quadro 9 - Resultados do ensaio pelo Método <i>Speedy Test</i> para a amostra de solo .....	48
Quadro 10 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia fina.....	49
Quadro 11 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia média.....	49
Quadro 12 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia grossa.....	50
Quadro 13 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de solo .....	50
Quadro 14 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina.....	51
Quadro 15 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina.....	51

Quadro 16 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia fina.....	52
Quadro 17 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia fina.....	52
Quadro 18 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia fina.....	52
Quadro 19 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia média.....	53
Quadro 20 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia média.....	53
Quadro 21 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Microondas amostra areia média.....	54
Quadro 22 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia média.....	54
Quadro 23 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia média.....	54
Quadro 24 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia grossa.....	55
Quadro 25 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia grossa.....	55
Quadro 26 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia grossa.....	56
Quadro 27 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia grossa.....	56
Quadro 28 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra areia grossa.....	56
Quadro 29 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra de solo.....	57
Quadro 30 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Microondas para a amostra de solo.....	57

Quadro 31 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo .....	58
Quadro 32 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo .....	58
Quadro 33 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo .....	58

**UNILAVRAS**

**Centro Universitário de Lavras**

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tabela de Padronização do Método do Micro-ondas .....	63
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
2.1 O teor de umidade na área de solos e a engenharia civil.....	18
2.2 Métodos para a determinação do teor de umidade do solo e areias .....	21
2.2.1 Método Termogravimétrico.....	21
2.2.2 Método <i>Speedy Test</i> .....	22
2.2.3 Método da Frigideira.....	24
2.2.4 Método do Micro-ondas.....	25
2.2.5 Uso do micro-ondas para secagem de diferentes tipos de materiais .....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1 Materiais utilizados.....	28
3.1.1 Solo .....	28
3.1.2 Agregado miúdo .....	28
3.2 Ensaio para a determinação do teor de umidade dos solos .....	28
3.2.1 Preparação das amostras de solo e areia .....	28
3.2.2 Procedimento dos ensaios .....	30
3.2.2.1 Ensaio do Método termogravimétrico .....	31
3.1.2.3 Ensaio pelo Método <i>Speedy Test</i> .....	35
3.1.2.4 Ensaio pelo Método da Frigideira .....	39
3.1.2.5 Ensaio pelo Método do Micro-ondas .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1 Método Termogravimétrico.....	46
4.2 Método <i>Speedy Test</i> .....	47

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



4.3 Método da Frigideira.....	49
4.4 Método da Micro-ondas.....	50
4.4.1 Areia fina .....	50
4.4.2 Areia média .....	53
4.4.2 Areia grossa .....	55
4.4.2 Solo .....	57
4.5 Discussão dos resultados.....	59
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Conhecer a umidade de solos e agregados é de suma importância para a Engenharia Civil, tanto para área de solos quanto para a área de materiais de construção civil.

Na área de solos é fundamental conhecer a umidade do material para determinar os Limites de Atterberg (Limites de Liquidez, Plasticidade e Contração), que são os limites onde o solo muda seu comportamento de líquido, para plástico e posteriormente para sólido. Além disso, para que ocorra uma compactação eficaz de um solo, o mesmo deve estar em sua umidade ótima. Para se obter esta umidade é necessário realizar o ensaio de compactação, conhecido como Ensaio de Proctor, e através dele, correlacionar o teor de umidade e a massa específica seca do solo quando compactado. É um método utilizado em laboratório, que consiste em compactar uma porção de solo em um cilindro com determinado volume, número de camadas e número de golpes por camada. Além disso, é possível realizar o ensaio com três diferentes energias de compactação sendo elas: normal, intermediária e modificada NBR 7182 (ABNT, 1989).

Já em materiais de construção civil, uma das aplicações mais importantes é na determinação da umidade da areia, o agregado miúdo mais utilizado nas obras para a produção de concretos e argamassas (MATANNA et. al, 2012).

O traço do concreto determina a proporção de agregados, aglomerantes e água que devem ser utilizados na fabricação de um determinado concreto e argamassa. Ele é sempre determinado para materiais secos. Quando esses materiais não estão nesta condição é necessário determinar a quantidade de água presente neles, para que seja ajustada da quantidade de água determinada pelo traço. Concretos ou argamassas com água em excesso podem sofrer diversas patologias como exsudação, perda de resistência, aumento da porosidade e o inchamento de areias.

A determinação do teor de umidade de um solo ou de um agregado pode ser realizados através de diferentes métodos, o qual será aplicado dependendo do local e dos materiais disponíveis no momento.

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



Ciente da importância da determinação da umidade dos solos para a Engenharia Civil, este trabalho visa verificar a eficácia do Método Micro-ondas e compará-lo com os outros 3 métodos que já possuem referências normativas. Nesse sentido, a presente pesquisa teve como principal objetivo analisar umidade de quatro materiais diferentes (solo, areia grossa, areia média e areia fina) através de quatro métodos (*Speedy Test*, Termogravimétrico, Frigideira e Micro-ondas) permitindo assim uma comparação entre os quatro e a padronização para a determinação do teor de umidade do Método Micro-ondas, que ainda não possui uma padronização normativa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O teor de umidade é um dos parâmetros mais importantes para a geotecnia e para a sua determinação é importante considerar diversos fatores na escolha do método a ser utilizado como o tempo de execução, praticidade e custo (ASSIS, 2008).

Neste capítulo serão abordados a importância do teor de umidade dos solos e areias para a engenharia civil, além de alguns métodos utilizados para a determinação do teor de umidade desses materiais.

### 2.1 O teor de umidade e a engenharia civil

O estudo das propriedades do solo é essencial, pois é possível caracterizá-lo e verificar a sua resistência. O tamanho das partículas também influencia no seu comportamento e característica. O solo geralmente recebe a denominação de pedregulho, areia, silte ou argila, dependendo do tamanho predominante das partículas presentes (BRAJA, 2011). Diversas organizações desenvolveram uma classificação para a determinação do tamanho das partículas, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação do tamanho das partículas

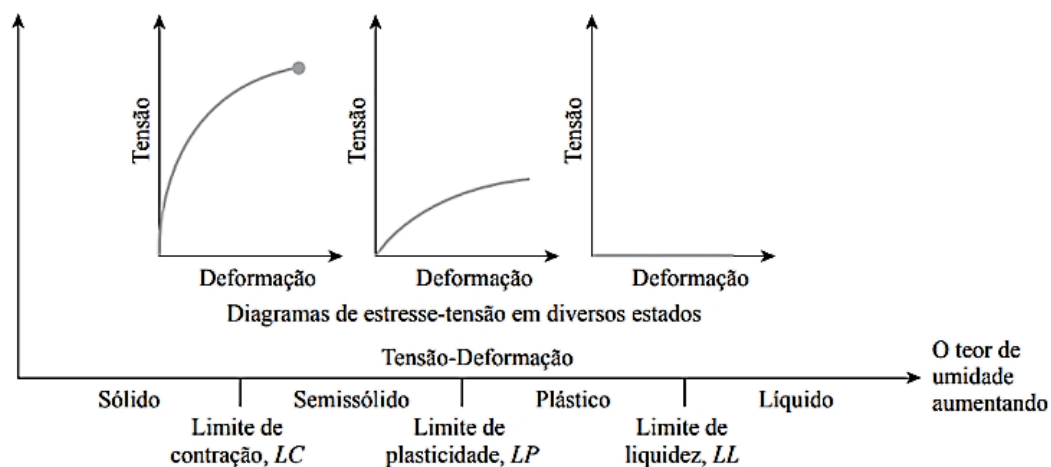
Nome da Organização	Tamanho das partículas			
	Argila	Silte	Areia	Pedregulho
<b>ABNT</b>	< 0,002 mm	0,002 mm - 0,06 mm	0,06 mm - 2 mm	2 mm - 60 mm
<b>USCS</b>	< 0,002 mm	0,002 mm - 0,075 mm	0,075 mm - 4,75 mm	4,75 mm - 76,2 mm
<b>AASHTO</b>	< 0,002 mm	0,002 mm - 0,075 mm	0,075 mm - 2 mm	2 mm - 76,2 mm
<b>USDA</b>	< 0,002 mm	0,002 mm - 0,05 mm	0,05 mm - 2 mm	> 2 mm
<b>MIT</b>	< 0,002 mm	0,02 mm - 0,06 mm	0,06 mm - 2 mm	> 2 mm

Fonte: Adaptado de Braja (2011).

Quando um solo granular fino apresenta materiais argilosos, este pode ser moldado na presença de alguma umidade sem desagregar. O cientista Atterberg

desenvolveu um método que associa o teor de umidade à consistência do solo, concluindo que os solos com teores de umidade muito baixos se comportam como sólido e solos com alto teor de umidade se comportam como líquido. A Figura 1, representa o comportamento do solo em quatro diferentes estados: sólido, semissólido, plástico e líquido. Além disso, os limites de consistência, conhecidos como Limites de Atterberg, estão relacionados ao teor de umidade presente no solo. Na Figura 1 também é possível observar os pontos em que ocorrem a transição dos limites de consistência. Dessa forma, a mudança do estado sólido para o semissólido é definida como limite de contração, do estado semissólido para o estado plástico como o limite de plasticidade e do estado plástico para o líquido é definido como limite de liquidez (BRAJA, 2011).

Figura 1 - Limites de Atterberg



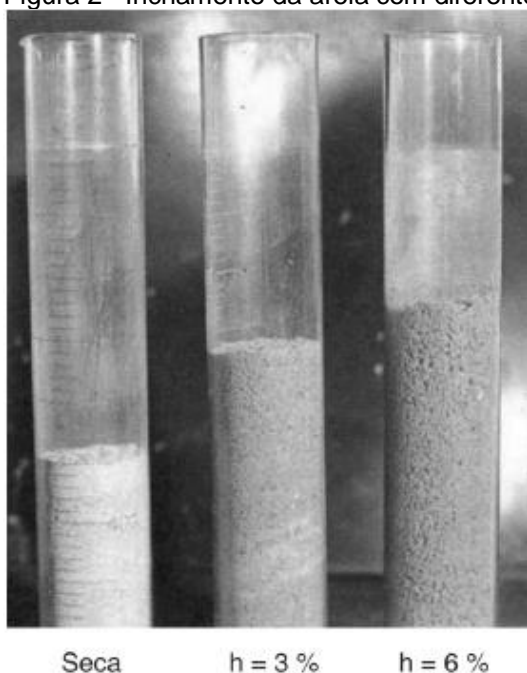
Fonte: Braja (2011, p. 80).

Outra aplicação prática que necessita da determinação do teor de umidade é na compactação dos solos, que é um processo que consiste na densificação do solo por meio de remoção de ar. O grau de compactação de um solo é medido com base no peso específico seco. Quando adicionada ao solo durante a compactação, a água atua como um agente lubrificante de partículas. As partículas de solo deslizam

uma sobre a outra e se movem para a posição densamente compacta (BRAJA, 2011). Portanto, para uma compactação efetiva, é necessário que o solo esteja no seu ponto de umidade ótima. Conhecendo o ponto de umidade ótima e a umidade do solo em campo é possível verificar se é necessário fazer algum tipo de correção dessa umidade para realizar a compactação.

Na área de materiais de construção civil uma das aplicações mais importantes é na verificação da umidade de agregados para concretos e argamassas. Segundo Bauer (2019), a umidade quando presente na superfície dos agregados, ocasiona o afastamento do grão, alterando o seu volume aparente e acarretando o fenômeno conhecido como inchamento das areias, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Inchamento da areia com diferentes teores de umidade



Fonte: Bauer (2019, p. 130).

Portanto, para uma mesma quantidade de areia seca, se for adicionada água terá no final um volume bem maior comparado com o inicial e isso afeta diretamente na dosagem de argamassas e concretos, uma vez que os traços sempre são dados para materiais secos (BAUER, 2019).

Como supracitado, a verificação do teor de umidade é recorrente tanto na área de solos quanto na área de materiais de construção civil, ou seja, é um ensaio empregado em diferentes situações na engenharia.

## **2.2 Métodos para a determinação do teor de umidade do solo e areias**

Para a determinação do teor de umidade do solo e areias é possível serem aplicados diferentes métodos de secagem das amostras, dentre eles pode-se citar o método Termogravimétrico, o método *Speedy Test*, o método da Frigideira e o método do Micro-ondas. Diante disso, serão abordadas as suas principais características, as suas aplicações, as normas que regulamentam o processo de execução dos ensaios e algumas referências bibliográficas sobre cada método.

### **2.2.1 Método Termogravimétrico**

O método Termogravimétrico, conhecido como método da estufa, é preconizado pela NBR 6457 (ABNT, 2016) considerado um método consagrado, adotado como padrão e que apresenta resultados confiáveis. Além disso, é um método simples, prático e que apresenta elevada precisão.

O teor de umidade pode ser obtido em laboratório ou em campo. Dentre os métodos para a sua determinação em laboratório, método de secagem em estufa é o mais comum de ser utilizado, sendo determinado através da pesagem e da secagem de amostras (CALDERÓN, 2010). Dessa forma, a massa de água presente em uma dada amostra de solo é determinada pela diferença entre o peso da amostra úmida e seca (SILVA, 2013).

O teor de umidade pode ser obtido em laboratório através do método de secagem em estufa, sendo determinado através da pesagem e da secagem de amostras (CALDERÓN, 2010). Dessa forma, a massa de água presente em uma dada amostra de solo é determinada pela diferença entre o peso da amostra úmida e seca (SILVA, 2013).

Este método é o mais tradicional e utilizado para a determinação do teor de umidade dos solos. Apresenta diversas vantagens como a exatidão dos resultados, permitindo ser utilizado para comparar com outros métodos, porém o tempo de secagem das amostras demandam muito tempo, em outras palavras, requer muitas horas para a sua execução (ASSIS, 2008). Sendo assim, apesar de apresentar exatidão e simplicidade, é um método que se torna insatisfatório em situações que é necessário a obtenção de resultados rápidos e com grande número de determinações a serem feitas (CALDERÓN, 2010). Ou seja, a maior desvantagem para a aplicação deste método é o tempo necessário para obtenção dos resultados, o qual será de aproximadamente 24 horas (BUSKE et al., 2014).

Vale ressaltar que neste método é importante evitar a perda de água por evaporação, sendo necessário realizar a vedação correta das amostras de solo. Este cuidado deve ser tomado durante o processo de coleta de amostras, que podem ser retiradas de diversos locais e profundidades, preparação e transporte delas. (COUTO e SANS, 2002).

Portanto, apesar de ser um método que possui referências normativas e resultados confiáveis, é uma técnica que demanda muito tempo e para realizá-la são necessárias estufa e balança, e a utilização desses equipamentos em campo nem sempre é possível na construção civil.

### **2.2.2 Método *Speedy Test***

O Método *Speedy Test* é descrito pela NBR 16097 (ABNT, 2012) e normalizado pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER-ME 52-64/94, sendo considerado um método simples, prático e que pode ser aplicado em campo.

É um método caracterizado pela facilidade no manuseio do equipamento, pela rápida determinação do teor de umidade, além do custo ser relativamente baixo e, desde que esteja calibrado, pode ser aplicado em qualquer solo, para qualquer faixa de água (VIELMO, 2008). É recomendado para solos arenosos, o qual a umidade é determinada com o auxílio de um aparelho chamado umidímetro, mais conhecido

como *Speedy Test*, Figura 3. O equipamento é constituído por um reservatório que se comunica a um manômetro, o qual o teor de umidade é determinado pela pressão do gás, gerada pela reação entre o carbureto de cálcio e a amostra de solo úmido que são introduzidos no aparelho (NBR 16097 ABNT, 2012).

Figura 3 - Aparelho *Speedy Test*



Fonte: A autora (2021).

Dessa forma, a combinação entre a água presente no solo e o carbureto de cálcio gera o acetileno e, pela variação da pressão interna, obtém-se a quantidade de água existente no solo (CAPUTO, 2015). O ensaio é encerrado quando a pressão registrada no manômetro se apresentar constante, indicando que houve a reação entre a água presente na amostra e o carbureto de cálcio. O aparelho é composto por uma tabela que relaciona a leitura manométrica e o peso da amostra utilizada no ensaio, determinando-se a porcentagem de umidade presente no solo.

Ribeiro et al. (2018) realizaram o comparativo dos resultados de umidade de quatro classes de solo através do método padrão da estufa e do método *Speedy Test*. Verificaram que o último apresentou valores de umidade abaixo dos

determinados pelo método da estufa, o que pode estar relacionado à dificuldade de desagregação total das partículas no interior do aparelho. Concluíram que o método *Speedy* sempre forneceu valores de umidade abaixo daqueles determinados pelo método da estufa, pois, quanto maior a umidade do solo, maior o erro na comparação entre os métodos.

Faria et. al. (2017) correlacionaram através do método padrão de estufa o teor de umidade do Argissolo Vermelho com outros métodos como o *Speedy Test*, Frigideira e Micro-ondas. Verificaram que é possível a aplicação de métodos alternativos para a determinação do teor de umidade dos solos, principalmente com a utilização do *Speedy* e do Micro-ondas, que apresentaram resultados próximos aos valores de referência do método padrão, porém constatou-se a imprecisão do método da Frigideira.

### **2.2.3 Método da Frigideira**

O Método da Frigideira é descrito pela norma NBR 16097 (ABNT, 2012). É um método de secagem alternativo que conta o emprego de equipamentos simples e baixo custo. As principais vantagens para a sua aplicação incluem a redução no tempo de secagem da amostra de solo, além de ser um método que devido a sua simplicidade e praticidade pode ser empregado diretamente em campo (SANTOS et al., 2011). Para a determinação da umidade de uma amostra em campo é aconselhável a utilização de métodos rápidos, como o método da frigideira. A sua aplicação tem como finalidade a diminuição do tempo para a determinação do teor de umidade, sendo possível a sua obtenção em questão de minutos (SOUZA e COELHO, 2019).

Santos et al. (2011) verificaram a possibilidade da adoção do método da Frigideira para a determinação da umidade do latossolo vermelho escuro. Concluíram que o método alternativo se mostrou promissor, agilizando a obtenção de resultados, pois os tempos avaliados foram suficientes para a secagem do solo, quando comparado ao método padrão que gasta pelo menos 24 horas para completar a secagem em estufa.

#### **2.2.4 Método do Micro-ondas**

O método do micro-ondas é uma técnica alternativa para a determinação do teor de umidade, que tem como objetivo reduzir o processo de secagem do método convencional que dura em média 24 horas para um tempo entre 5 e 10 minutos. Porém, o tipo de solo, a umidade inicial, o tamanho das amostras e a potência do micro-ondas são alguns fatores que influenciam diretamente a eficácia do processo de secagem (SANTOS e FILHO, 2017).

Diversos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir o tempo de secagem pelo método convencional. Souza et al. (2002) empregaram o forno micro-ondas doméstico para a determinação do teor de matéria seca e teor de umidade em laboratórios. Dessa forma, um procedimento que antes era gasto horas foi possível ser realizado com 10 minutos. Os autores concluíram que, comparada ao método convencional, o micro-ondas apresentou alta correlação, ao nível de 95% de confiança.

Tavares et al. (2008) estudaram a utilização do forno micro-ondas na determinação de umidade no solo, comparando o resultado com o método estufa convencional. Foram utilizados nove tipos de solos com diferentes texturas. Os resultados obtidos pelos dois métodos não diferiram entre si, porém para a secagem utilizando o forno micro-ondas diminuiu a variação das repetições de acordo com o tamanho das amostras.

Cremon et al. (2014) determinaram o tempo necessário para a obtenção da umidade de diferentes tipos de solos por meio do forno micro-ondas e fizeram uma comparação com a metodologia padrão. Eles concluíram que o micro-ondas pode ser alternativa para alguns tipos de solos, visto que alguns apresentaram diferenças quando comparado com o método padrão. Concluíram também, que 12 minutos é o suficiente para obter um solo seco.

Rodrigues e Araújo (2016) realizaram a comparação entre o Método Termogravimétrico com a utilização do forno micro-ondas. Eles analisaram solos com diferentes teores de umidade e fizeram a comparação. Ao final da pesquisa concluíram que os resultados chegaram a um nível de confiança de 95%.

Oliveira e Roque (2016) fizeram a determinação da umidade de três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado, para isso eles usaram a estufa e o forno micro-ondas. Eles analisaram os solos com 20, 35 e 50% de argila. As amostras foram submetidas a 2, 4, 6, 8 e 10 minutos no micro-ondas e comparadas com o tempo padrão de estufa de 24 horas. Após as análises, concluíram que a secagem das amostras pelo método micro-ondas foi eficaz e confiável, podendo ser uma alternativa ao método da estufa que demora muitas horas para concluir uma análise.

Dessa forma, apesar do método micro-ondas não apresentar uma referência normativa, é uma técnica eficaz e simples, e que pode ser utilizada com precisão igual ao método termogravimétrico para a determinação do teor de umidade (MIRANDA, 2012); (SANTOS e FILHO, 2017).

### **2.2.5 Uso do Micro-ondas para secagem de diferentes tipos de materiais**

Devido a sua agilidade no processo de secagem de materiais, o forno micro-ondas tem sido alvo de pesquisas em diversas áreas não só na Engenharia Civil.

Magalhães et al. (2003) fizeram um estudo de secagem da bauxita com diferentes teores de umidade inicial por meio do forno micro-ondas. Após os estudos, concluíram que os tempos ótimos de secagem por micro-ondas tem uma relação direta com a umidade inicial. Além disso, concluíram que quanto maior era a massa da amostra a ser seca, maior era o tempo necessário para a secagem.

Nery et al. (2004) utilizou o forno micro-ondas para determinar o grau de umidade de sementes de Ipê-do-Cerrado. O método foi escolhido por sua agilidade e porque a umidade é um dos fatores que mais influenciam no processo de deterioração das sementes. O procedimento foi comparado com o convencional, utilizando a estufa. Após a comparação, eles concluíram que a menor variação de resultados entre os dois métodos ocorreu quando se utilizou o tempo de 5 minutos para a determinação da umidade pelo método do micro-ondas.

Pereira (2013) fez um estudo sobre a aplicação de secagem por micro-ondas no tratamento de cascalho de perfuração. Neste caso, o micro-ondas doméstico foi

utilizado com uma alternativa para a descontaminação do cascalho. Com os resultados positivos do forno micro-ondas doméstico foi desenvolvido um forno micro-ondas em escala de banca para a secagem de cascalho contaminado com fluido de perfuração. Ela analisou as variáveis de concentração de fluido no cascalho, a massa de material alimentada no forno micro-ondas e a energia específica aplicada. Os resultados mostraram que os cascalhos submetidos a secagem por forno micro-ondas chegaram a teores inferiores de contaminação comparado com os resultados pelo método convencional.

Cavalcante et al. (2016) avaliou a secagem de madeira de Louro Preto utilizando o processo por micro-ondas e sua influência na formação de rachaduras, no tempo de secagem e na umidade final.

Serafim et al. (2017) fez a determinação de matéria seca e proteína de Mombaça, Silagem de Milho e Milho com o forno micro-ondas e comparou com a secagem feita com a estufa. Foi utilizado com forno de 1050 Watts. Concluíram que a secagem pelo forno micro-ondas obteve no final um valor mais elevado de proteína e que referente a matéria seca não houve diferença significativas.

Lacerda (2009) fez a determinação da matéria seca de forrageiras pelo método do forno micro-ondas. A escassez de informações sobre esse método foi o que motivou a realização do trabalho. Geralmente essa determinação é feita pelo método convencional que é a estufa de ventilação de ar forçada. Concluíram que para as três espécies de forrageiras testadas não houve diferença entre o método convencional e o com micro-ondas, ou seja, que o método alternativo foi eficaz.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Os testes para o presente projeto foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil, Mecânica dos Solos e no Laboratório de Física do Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS.

Foram analisados a umidade de 4 materiais diferentes solo, areia fina, areia média e areia grossa, através de 4 métodos *Speedy Test*, Termogravimétrico, Frigideira e Micro-ondas.

#### **3.1 Materiais utilizados**

##### **3.1.1 Solo**

A amostra do solo foi coletada na cidade de Lavras-MG, no bairro Centenário, onde está localizado o Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS. Após a coleta, a mesma foi armazenada em embalagem lacrada e encaminhada para o Laboratório de Mecânica dos Solos e de Materiais de Construção Civil - UNILAVRAS.

##### **3.1.2 Agregado miúdo**

O agregado miúdo foi fornecido pela Qualimix Serviço Argamassa e Concretagem, empresa localizada na cidade de Lavras-MG. Foram fornecidos três diferentes tipos de granulometria de areia, sendo elas: fina, média e grossa.

#### **3.2 Ensaios para a determinação do teor de umidade dos solos**

##### **3.2.1 Preparação das amostras de solo e areia**

A preparação das amostras de solo e areia foram realizadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016), que descreve os procedimentos para a preparação de amostras de solo para os ensaios de compactação e de caracterização, além de ser uma norma aplicada para a determinação do teor de umidade dos solos.

A secagem das amostras foi realizada pelo processo de secagem em estufa, conforme mostrado na Figura 4, no qual foram colocadas por um período de 24 horas, a uma temperatura de 65°C.

Figura 4 - Secagem em estufa das amostras de solo e areias



Fonte: A autora (2021).

Conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), o solo foi destorroado com o auxílio do almofariz e colocado no estado fofo. Em seguida, as amostras de solo e areias foram separadas, identificadas e acondicionadas em embalagem lacrada, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Amostras de solo e areias após a secagem em estufa



Fonte: A autora (2021).

Após os procedimentos descritos, as amostras foram armazenadas em um local adequado, sem umidade e calor.

### 3.2.2 Procedimento dos ensaios

Para a realização dos métodos Termogravimétrico, *Speedy Test*, Frigideira e Micro-ondas foram utilizados a mesma quantidade de solo, areias e quantidade de água, as quais foram definidas previamente, para que todas as amostras fossem compostas pela mesma proporção de material. Além disso, dos 4 tipos de materiais analisados (solo, areia fina, areia média e areia grossa) foram realizadas 5 repetições de cada um, para cada método.

Portanto, inicialmente preparou-se uma parte da amostra de solo e areia fina igual a 100 gramas, e de água o equivalente a 20 gramas. A proporção de material e água utilizados foram definidas para que, posteriormente, fossem retiradas as 5 amostras para a realização das repetições.

Em seguida, conforme mostrado na Figura 6 e na Figura 7, acrescentou-se água nas amostras de solo e areia fina, respectivamente, preparadas até sua homogeneização.

Figura 6 - Homogeneização da amostra de solo



Fonte: A autora (2021).

Figura 7 - Homogeneização da amostra de areia fina



Fonte: A autora (2021).

Os mesmos procedimentos de homogeneização representados na Figura 6 e na Figura 7 foram realizados para as amostras de areia média e grossa.

### 3.2.2.1 Ensaio do Método Termogravimétrico

Conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), para a execução deste método foram necessários uma estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C, uma balança, cápsulas metálicas e um dessecador contendo sílica-gel. Além disso pelo método termogravimétrico é recomendado que seja efetuado no mínimo três determinações do teor de umidade por amostra. Dessa forma, foram realizadas 5 repetições de cada material.

As cápsulas utilizadas foram previamente identificadas, pois cada uma delas possuíam massas distintas. Sendo assim, para cada tipo de material analisado elas foram enumeradas de 1 a 5, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Identificação das cápsulas metálicas



Fonte: A autora (2021).

Após a identificação, com o auxílio de uma balança pesou-se cada uma das cápsulas metálicas e anotou-se o seu peso, conforme a Figura 9.

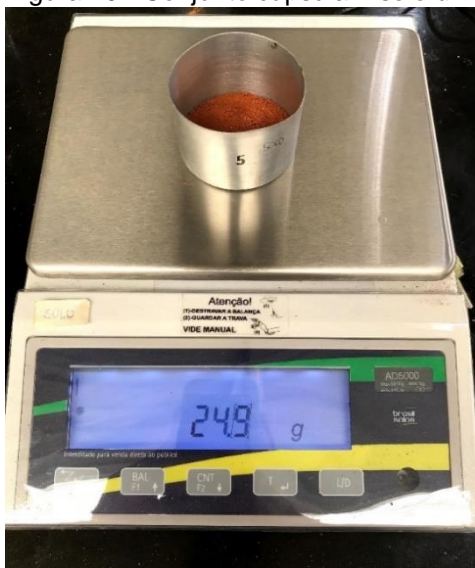
Figura 9 - Pesagem da cápsula metálica



Fonte: A autora (2021).

Colocou-se uma quantidade igual a 10g de solo na cápsula e pesou-se novamente o conjunto, cápsula mais solo úmido, anotando-se o peso do conjunto, como pode-se observar na Figura 10.

Figura 10 - Conjunto cápsula + solo úmido



Fonte: A autora (2021).

As amostras foram colocadas na estufa entre 105°C e 110°C por 24 horas, como pode-se observar na Figura 11.

Figura 11 - Amostras na estufa



Fonte: A autora (2021).

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

www.unilavras.edu.br



Após as 24 horas, a amostra foi retirada da estufa e colocada no dessecador por cerca de 3 minutos, conforme a Figura 12. Após esse período, pesou-se o conjunto cápsula mais solo seco e anotou-se o valor, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 12 - Amostra de solo colocada no dessecador



Fonte: A autora (2021).

Figura 13 - Conjunto cápsula + solo seco



Fonte: A autora (2021).

Sendo assim, conforme preconizado pela NBR 6457 (ABNT, 2016), o teor de umidade foi obtido a partir da equação 1:

$$W = \frac{(M1 - M2)}{M2 - M3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W = Teor de umidade, expresso em porcentagem (%)

M1 = Massa da cápsula + solo úmido (g)

M2 = Massa da cápsula + o solo seco (g)

M3 = Massa da cápsula vazia (g)

Os mesmos procedimentos descritos foram realizados para as amostras de areia fina, média e grossa.

### 3.1.2.3 Ensaio pelo Método *Speedy Test*

Para a execução do método é necessário a utilização do conjunto de aparelho *Speedy*. O aparelho utilizado para a execução do presente ensaio foi o da fabricante SoloCap, o qual é composto por um cilindro e um manômetro conjugado, balança de Arquimedes, ampolas de carbureto cálcio, duas esferas metálicas, espátula, escova para limpeza e a tabela do fabricante.

Com o conjunto *Speedy*, o primeiro passo foi pesar, com o auxílio da balança de Arquimedes, 10g de solo, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Balança de Arquimedes



Fonte: A autora (2021).

Em seguida, o cilindro foi aberto e colocou-se em seu interior a amostra de solo, as duas esferas metálicas e uma ampola de carbureto de cálcio. Conforme a NBR 16097 (ABNT, 2012), o cilindro foi vedado, agitado vigorosamente, na posição vertical até que se observasse um aquecimento do mesmo e a estabilização do manômetro. Após o procedimento, foi realizada a leitura do manômetro (Figura 15), e consultou-se na tabela do fabricante, (Figura 16), a umidade presente na amostra e o seu valor foi anotado.

Figura 15 - Leitura do manômetro



Fonte: A autora (2021).

Figura 16 - Tabela do fabricante do umidímetro

TABELA PARA USO DO UMIDÍMETRO (SPEEDY)				
Leitura no manômetro Kg/cm <sup>2</sup> (Pressão Final)	Peso da amostra usada para a determinação da % de água			
	20 gramas	15 gramas	10 gramas	5 gramas
0,10	0,3	1,3	1,5	2,5
0,15	0,6	1,8	2,2	3,5
0,20	1,0	2,2	2,8	4,4
0,25	1,3	2,7	3,4	5,3
0,30	1,7	3,2	4,0	6,3
0,35	2,1	3,6	4,7	7,2
0,40	2,5	4,1	5,3	8,2
0,45	2,9	4,6	5,9	9,1
0,50	3,3	5,1	6,5	10,1
0,55	3,7	5,6	7,2	11,0
0,60	4,1	6,1	7,7	11,9
0,65	4,5	6,6	8,3	12,9
0,70	4,9	7,0	8,9	13,8
0,75	5,3	7,5	9,6	14,8
0,80	5,7	8,0	10,2	15,7
0,85	6,1	8,5	10,8	16,7
0,90	6,5	8,9	11,4	17,6
0,95	6,9	9,4	12,1	18,5
1,00	7,3	9,9	12,8	19,5
1,05	7,7	10,4	13,4	20,5
1,10	8,1	10,9	14,0	21,5
1,15	8,5	11,4	14,6	22,5
1,20	8,9	11,9	15,2	23,5
1,25	9,3	12,3	15,9	24,5
1,30	9,7	12,8	16,4	25,4
1,35	10,1	13,3	17,1	26,4
1,40	10,5	13,8	17,7	27,3
1,45	10,9	14,2	18,1	28,4
1,50	11,3	15,7	19,9	29,3

Fonte: Tabela adaptada do kit *Speedy Test* do fabricante SoloCap (2021).

O mesmo procedimento foi realizado com as amostras de areia fina, média e grossa, conforme as normas e especificações.

### 3.1.2.4 Ensaio pelo Método da Frigideira

Esta etapa foi realizada no Laboratório de Física do Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS. Para este método foi necessário a utilização de uma fonte de calor (fogão, fogareiro ou bico de Bunsen). Portanto, utilizou-se o bico de Bunsen, um equipamento usualmente utilizado em laboratório para o aquecimento de substâncias, uma frigideira, espátula e uma balança. Para a aplicação em campo, deve-se utilizar o fogareiro ou o fogão.

Com o auxílio de uma balança pesou-se a frigideira e anotou-se o seu valor, como é observado na Figura 17. A frigideira utilizada neste ensaio foi a mesma para todos os testes e repetições das amostras de solo e areias.

Figura 17 - Pesagem da frigideira vazia



Fonte: A autora (2021).

Foi colocado uma quantidade igual a 10 g de solo úmido na frigideira e pesou-se novamente o conjunto solo úmido mais frigideira, anotando-se o peso do conjunto em gramas, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Pesagem solo úmido + frigideira



Fonte: A autora (2021).

Primeiramente a amostra foi colocada em fogo baixo, passando pelo processo de secagem com os tempos de 10 e 15 minutos, porém o teor de umidade não se mostrou satisfatório. Dessa forma, aumentou-se o tempo de secagem para 20 minutos e observou-se que a amostra passou a se estabilizar com o novo tempo. Então, para verificar se os 20 minutos seriam suficientes para que ocorresse o processo de secagem, testou-se o tempo de 25 minutos, e o teor de umidade mostrou-se estabilizado, conforme o tempo testado anteriormente. Portanto, verificou-se que 20 minutos seriam suficientes para que ocorresse a secagem da amostra, sendo esta, submetida ao processo como pode-se observar na Figura 19.

Conforme a NBR 16097 (ABNT, 2012), durante a secagem é importante revolver a amostra de solo com o auxílio de uma espátula, facilitando o processo e evitando-se a queima do material.

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

www.unilavras.edu.br



Figura 19 - Secagem da amostra de solo



Fonte: A autora (2021).

Logo após o tempo de secagem da amostra, pesou-se o conjunto frigideira mais solo seco, como pode-se observar na Figura 20, e o seu valor foi anotado.

Figura 20 - Pesagem do solo após a secagem



Fonte: A autora (2021).



Sendo assim, o teor de umidade foi determinado pela equação 2:

$$W = \frac{(M1 - M2)}{M2 - M3} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

W = Teor de umidade, expresso em porcentagem (%)

M1 = Massa da frigideira + solo úmido (g)

M2 = Massa da frigideira + o solo seco (g)

M3 = Massa da frigideira vazia (g)

Os mesmos procedimentos foram realizados para as amostras de areia fina, média e grossa.

### 3.1.2.5 Ensaio pelo Método do Micro-ondas

Para execução deste método utilizou-se o forno micro-ondas da fabricante Eletrolux modelo MEO44/127V 34 litros, uma balança, uma espátula e um cadinho de porcelana. O cadinho de porcelana utilizado neste ensaio foi o mesmo para todos os testes e repetições das amostras de solo e areias.

Com o auxílio de uma balança, pesou-se o cadinho e anotou-se o seu peso, como pode-se observar na Figura 21.

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

www.unilavras.edu.br



Figura 21 - Pesagem do cadinho vazio



Fonte: A autora (2021).

Foi colocada uma quantidade igual a 10g de solo úmido na cápsula e pesou-se novamente o conjunto solo úmido mais cadinho, anotando-se o peso do conjunto, como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Pesagem do solo úmido + cadinho



Fonte: A autora (2021).

Em seguida, ajustou-se a potência máxima do aparelho, conforme a Figura 23 e, então, colocou-se a amostra de solo no micro-ondas.

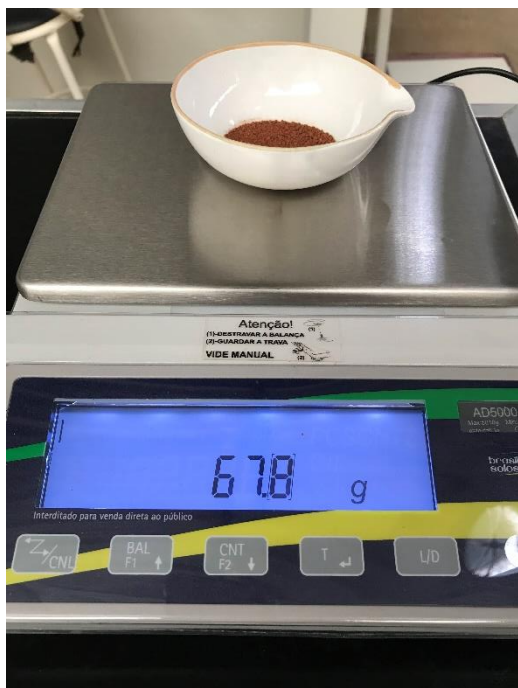
Figura 23 - Micro-ondas ajustado em potência máxima



Fonte: A autora (2021).

Foram testados os tempos de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 minutos. Primeiramente, colocou-se a amostra por 2 minutos no forno micro-ondas e após o tempo de secagem pesou-se o conjunto, anotando-se o valor. Após o procedimento, conforme a Figura 24, pesou-se o conjunto cadinho mais solo seco, e em seguida o seu valor foi anotado.

Figura 24 - Pesagem do solo após a secagem



Fonte: A autora (2021).

Em seguida colocou-se a amostra novamente no equipamento por mais 2 minutos, totalizando-se 4 minutos de secagem. Após o período, pesou-se novamente o conjunto e anotou-se o valor. Este procedimento foi repetido para os demais tempos, observando-se a estabilização da massa da amostra de solo. Após a pesagem das amostras, determinou-se o teor de umidade a partir da equação 3:

$$W = \frac{(M1 - M2)}{M2 - M3} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

W = Teor de umidade, expresso em porcentagem (%)

M1 = Massa do cadinho + solo úmido (g)

M2 = Massa do cadinho + o solo seco (g)

M3 = Massa do cadinho vazio (g)

Os mesmos procedimentos foram realizados para as amostras de areia fina, média e grossa.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios para a determinação do teor de umidade dos solos e areais foram organizados em quadros utilizando-se o *software* Excel.

##### 4.1 Método Termogravimétrico

Os quadros apresentam dos dados dos ensaios realizados utilizando-se o Método Termogravimétrico. Para cada tipo de material utilizado (areia fina, areia média, areia grossa e solo) foram realizadas 5 repetições de cada.

Nos quadros 2, 3, 4 e 5 pode-se observar os resultados obtidos para as amostras de areia fina, média, grossa e solo respectivamente.

Quadro 2 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia fina

Número de amostras	Cápsula Vazia (g)	Cápsula+Solo Umido (g)	Cápsula+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	14,20	24,20	22,60	19,05
2	13,60	23,60	22,00	19,05
3	14,20	24,20	22,60	19,05
4	15,50	25,50	23,90	19,05
5	16,30	26,30	24,70	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 3 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia média

Número de amostras	Cápsula Vazia (g)	Cápsula+Solo Umido (g)	Cápsula+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	13,30	23,30	21,70	19,05
2	13,40	23,40	21,80	19,05
3	13,50	23,50	21,90	19,05
4	13,70	23,70	22,10	19,05
5	13,30	23,30	21,70	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 4 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de areia grossa

Número de amostras	Cápsula Vazia (g)	Cápsula+Solo Úmido (g)	Cápsula+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	15,90	25,90	24,20	20,48
2	15,80	25,80	24,20	19,05
3	15,10	25,10	23,50	19,05
4	15,60	25,60	24,00	19,05
5	15,20	25,20	23,60	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 5 - Resultados do ensaio pelo Método Termogravimétrico para a amostra de solo

Número de amostras	Frigideira Vazia(g)	Frigideira+Solo Úmido (g)	Frigideira+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	195,80	205,80	204,00	21,95
2	195,80	205,80	204,00	21,95
3	195,80	205,80	204,00	21,95
4	195,80	205,80	204,00	21,95
5	195,80	205,80	204,00	21,95

Fonte: A autora (2021).

Com os resultados obtidos pelo Método Termogravimétrico, pode-se observar que para cada tipo de material, as repetições apresentaram valores constantes para a determinação de teor de umidade.

#### 4.2 Método *Speedy Test*

Os quadros 6, 7, 8 e 9 apresentam os resultados dos ensaios realizados utilizando-se o Método *Speedy Test*. Para cada tipo de material utilizado (areia fina, areia média, areia grossa e solo) foram realizadas 5 repetições de cada.

Nos quadros 6, 7, 8 e 9 pode-se observar os resultados obtidos para as amostras de areia fina, média, grossa e solo respectivamente.

Quadro 6 - Resultados do ensaio pelo Método *Speedy Test* para a amostra de areia fina

<b>Número de amostras</b>	<b>Leitura do Manômetro</b>	<b>Porcentagem de água contida na amostra (%)</b>
1	1,00	12,80
2	1,00	12,80
3	1,00	12,80
4	1,00	12,80
5	1,00	12,80

Fonte: A autora (2021).

Quadro 7 - Resultados do ensaio pelo Método *Speedy Test* para a amostra de areia média

<b>Número de amostras</b>	<b>Leitura do Manômetro</b>	<b>Porcentagem de água contida na amostra (%)</b>
1	0,90	11,40
2	0,85	10,80
3	0,85	10,80
4	0,85	10,80
5	0,90	11,40

Fonte: A autora (2021).

Quadro 8 - Resultados do ensaio pelo Método *Speedy Test* para a amostra de areia grossa

<b>Número de amostras</b>	<b>Leitura do Manômetro</b>	<b>Porcentagem de água contida na amostra (%)</b>
1	0,70	8,90
2	0,80	10,20
3	0,90	11,40
4	0,90	11,40
5	0,85	10,80

Fonte: A autora (2021).

Quadro 9 - Resultados do ensaio pelo Método *Speedy Test* para a amostra de solo

<b>Número de amostras</b>	<b>Leitura do Manômetro</b>	<b>Porcentagem de água contida na amostra (%)</b>
1	1,00	12,80
2	1,00	12,80
3	1,00	12,80
4	1,00	12,80
5	1,00	12,80

Fonte: A autora (2021).

Com os resultados obtidos pelo Método *Speedy Test*, pode-se observar que houve variações a partir das leituras realizadas no manômetro, principalmente para as amostras de areia média e grossa. Para as amostras de areia fina e solo, observa-se que elas não apresentaram variações, mantendo-se os resultados constantes.

### 4.3 Método da Frigideira

Os quadros 10, 11, 12 e 13 mostram os resultados dos ensaios realizados utilizando-se o Método da Frigideira para as amostras de areia fina, média, grossa e solo respectivamente. Para cada tipo de material utilizado (areia fina, areia média, areia grossa e solo) foram realizadas 5 repetições de cada.

Além disso, pode-se observar que a massa da frigideira é a mesma para todas as amostras, pois utilizou-se o mesmo recipiente em todas as repetições realizadas.

Quadro 10 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia fina

Número de amostras	Frigideira Vazia (g)	Frigideira+Solo Úmido (g)	Frigideira+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	195,80	205,80	204,20	19,05
2	195,80	205,80	204,20	19,05
3	195,80	205,80	204,20	19,05
4	195,80	205,80	204,20	19,05
5	195,80	205,80	204,20	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 11 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia média

Número de amostras	Frigideira Vazia (g)	Frigideira+Solo Úmido (g)	Frigideira+Solo Seco(g)	Teor de Umidade (%)
1	195,80	205,80	204,20	19,05
2	195,80	205,80	204,20	19,05
3	195,80	205,80	204,20	19,05
4	195,80	205,80	204,20	19,05
5	195,80	205,80	204,20	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 12 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de areia grossa

Número de amostras	Frigideira Vazia (g)	Frigideira+Solo Umido (g)	Frigideira+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	195,80	205,80	204,20	19,05
2	195,80	205,80	204,20	19,05
3	195,80	205,80	204,20	19,05
4	195,80	205,80	204,20	19,05
5	195,80	205,80	204,20	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 13 - Resultados do ensaio pelo Método da Frigideira para a amostra de solo

Número de amostras	Frigideira Vazia (g)	Frigideira+Solo Umido (g)	Frigideira+Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	195,80	205,80	204,00	21,95
2	195,80	205,80	204,00	21,95
3	195,80	205,80	204,00	21,95
4	195,80	205,80	204,00	21,95
5	195,80	205,80	204,00	21,95

Fonte: A autora (2021).

Os resultados obtidos pelo Método da Frigideira mostraram-se constantes, observando-se que não houve variações, pois para as repetições de cada tipo de material o tempo de secagem utilizado para a determinação do teor de umidade foi igual a 20 minutos.

#### 4.4 Método do Micro-ondas

Os resultados dos ensaios obtidos pelo do Método do Micro-ondas para as amostras de areia fina, média, grossa e solo foram dispostos em quadros. Neles pode-se observar as repetições realizadas e os teores de umidade obtidos pelo método, sendo testados os tempos de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 minutos.

Além disso, pode-se observar que a massa do cadinho é a mesma para todas as amostras, pois utilizou-se o mesmo recipiente em todas as repetições realizadas.

##### 4.4.1 Areia fina

Os quadros 14, 15, 16, 17 e 18 mostram os resultados dos ensaios obtidos pelo do Método do Micro-ondas para as amostras de areia fina. Foram realizadas 5

repetições, ou seja, a partir de 100g de uma amostra de areia fina e 20g de água homogeneizadas, foram retiradas 5 partes para as repetições, com o equivalente a 10g para a execução dos ensaios.

Quadro 14 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 15 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,00	6,38
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 16 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	68,90	7,53
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 17 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	68,90	7,53
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 18 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia fina

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Com os resultados obtidos pelo Método do Micro-ondas para as amostras de areia fina, observou-se que os teores de umidade se estabilizaram com tempo de 6 minutos, não ocorrendo variações após este tempo.

#### 4.4.2 Areia média

Os quadros 19, 20, 21, 22 e 23 mostram os resultados dos ensaios obtidos pelo do Método do Micro-ondas para as amostras de areia média. Foram realizadas 5 repetições, ou seja, a partir de 100g de uma amostra de areia média e 20g de água homogeneizadas foram retiradas 5 partes para as repetições, com o equivalente a 10g para a execução dos ensaios.

Quadro 19 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia média

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,30	3,09
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 20 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia média

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,60	11,11
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 21 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Micro-ondas amostra areia média

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,20	4,17
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,70	9,89
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 22 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia média

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,20	4,17
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,60	11,11
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 23 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia média

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco(g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Com os resultados obtidos pelo Método do Micro-ondas para as amostras de areia média, observou-se que em 4 das 5 repetições, os teores de umidade se estabilizaram com 8 minutos, não ocorrendo variações após este tempo.

#### 4.4.2 Areia grossa

Os quadros 24, 25, 26, 27 e 28 mostram os resultados dos ensaios obtidos pelo do Método do Micro-ondas para as amostras de areia grossa. Foram realizadas 5 repetições, ou seja, a partir de 100g de uma amostra de areia grossa e 20g de água homogeneizadas foram retiradas 5 partes para as repetições, com o equivalente a 10g para a execução dos ensaios.

Quadro 24 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia grossa

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 25 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia grossa

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,10	17,65
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 26 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia grossa

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,70	9,89
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,20	16,28
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 27 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia grossa

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco(g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,20	16,28
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Quadro 28 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra areia grossa

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,70	9,89
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	68,20	16,28
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	68,00	19,05

Fonte: A autora (2021).

Com os resultados obtidos pelo Método do Micro-ondas para as amostras de areia grossa, observou-se que nas 5 repetições realizadas, os teores de umidade se estabilizaram com 8 minutos, não ocorrendo variações após este tempo.

#### 4.4.2 Solo

Os quadros 29, 30, 31, 32 e 33 mostram os resultados dos ensaios obtidos pelo do Método do Micro-ondas para a amostra de solo. Foram realizadas 5 repetições, ou seja, a partir de 100g de uma amostra de solo e 20g de água homogeneizadas foram retiradas 5 partes para as repetições, o equivalente a 10g para a execução dos ensaios.

Quadro 29 - Resultados referentes a repetição 1 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	67,90	20,48
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95

Fonte: A autora (2021).

Quadro 30 - Resultados referentes a repetição 2 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,50	12,36
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	67,90	20,48
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95

Fonte: A autora (2021).

Quadro 31 - Resultados referentes a repetição 3 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido(g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco(g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,40	13,64
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	67,90	20,48
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95

Fonte: A autora (2021).

Quadro 32 - Resultados referentes a repetição 4 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,30	14,94
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	67,90	20,48
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95

Fonte: A autora (2021).

Quadro 33 - Resultados referentes a repetição 5 do ensaio pelo Método do Micro-ondas para a amostra de solo

<b>Tempo testado</b>	<b>Cadinho Vazio (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Úmido (g)</b>	<b>Cadinho+Solo Seco(g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
<b>2 minutos</b>	59,60	69,60	69,10	5,26
<b>4 minutos</b>	59,60	69,60	68,30	14,94
<b>6 minutos</b>	59,60	69,60	67,90	20,48
<b>8 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>10 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95
<b>12 minutos</b>	59,60	69,60	67,80	21,95

Fonte: A autora (2021).

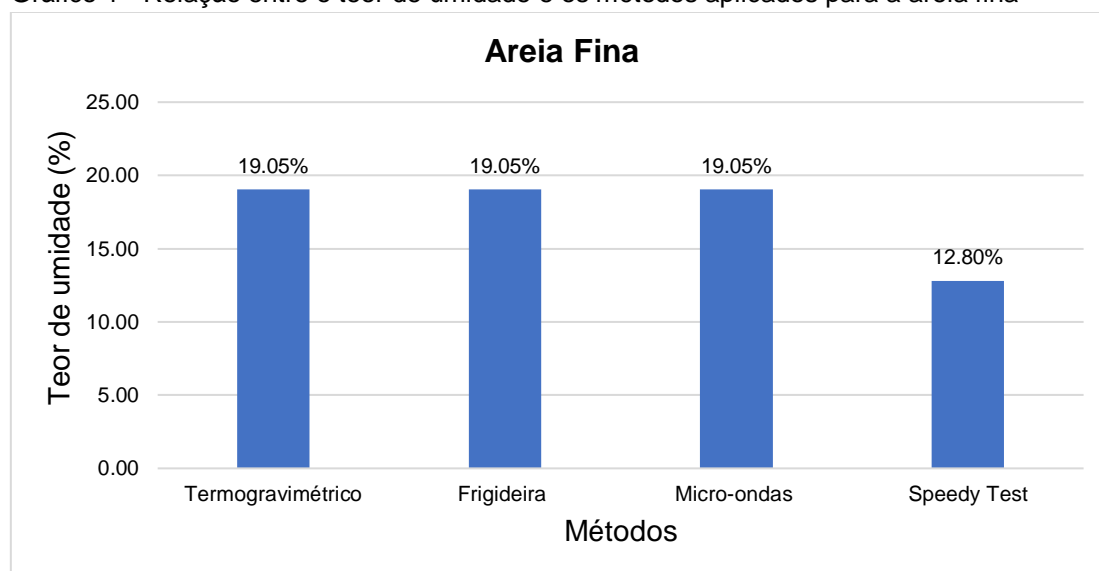
Com os resultados obtidos pelo Método do Micro-ondas para as amostras de solo, observou-se que nas 5 repetições realizadas, os teores de umidade se estabilizaram constantes com 8 minutos, não ocorrendo variações após este tempo.

#### 4.5 Discussão dos resultados

Os quadros expostos mostraram os resultados do teor de umidade do solo e das areias através dos quatro métodos. Com os resultados fez-se uma média entre os teores de umidade que foram distribuídos em gráficos.

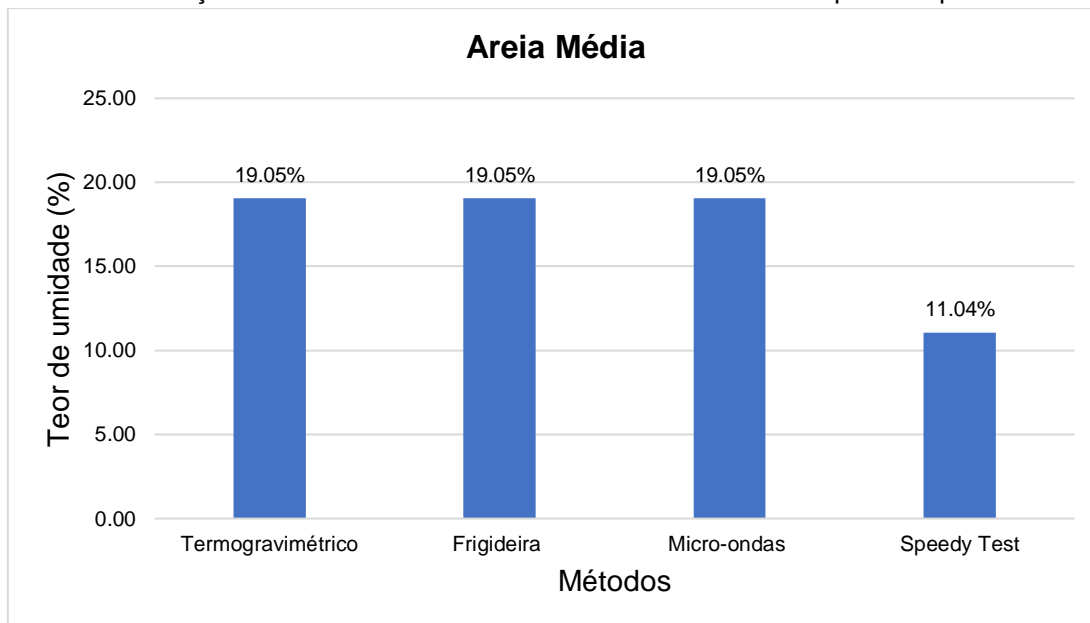
Os gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentam a relação entre o teor de umidade e os métodos aplicados para a amostra de areia fina, areia média, areia grossa e solo respectivamente.

Gráfico 1 - Relação entre o teor de umidade e os métodos aplicados para a areia fina



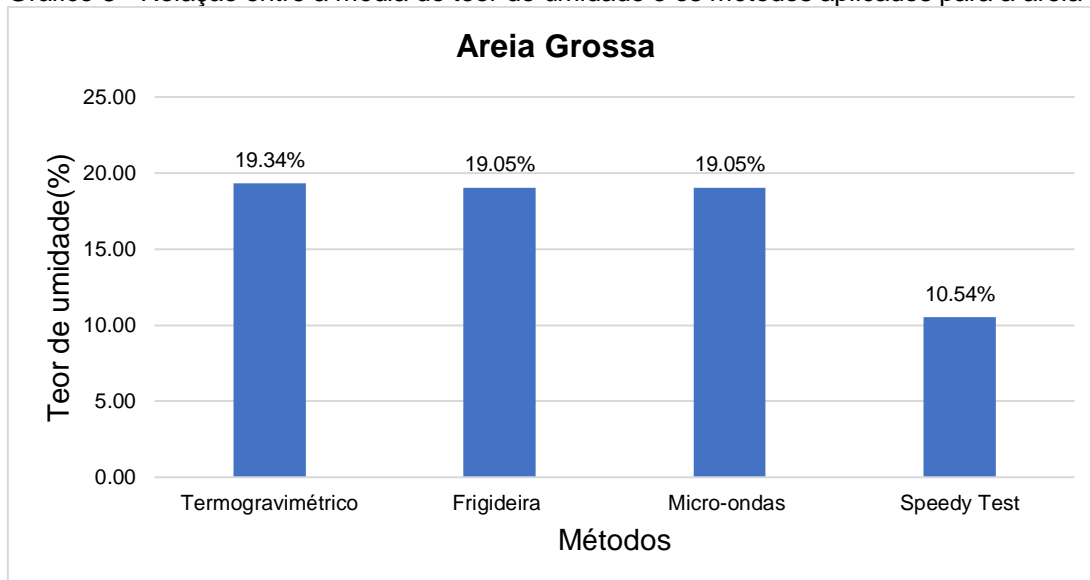
Fonte: A autora (2021).

Gráfico 2 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para a areia média



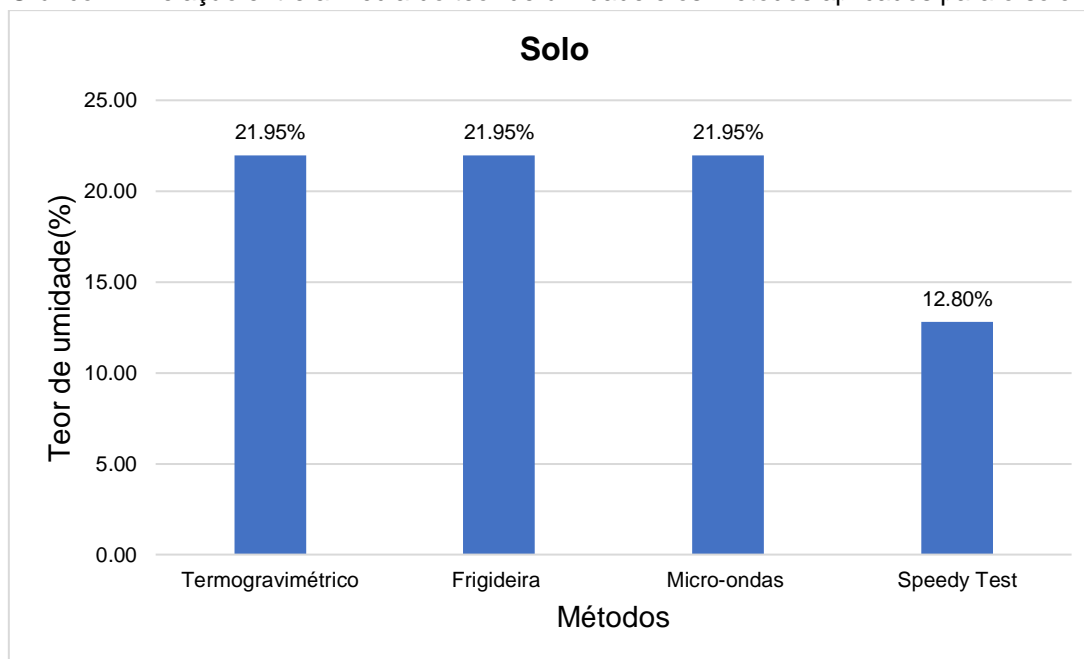
Fonte: A autora (2021).

Gráfico 3 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para a areia grossa



Fonte: A autora (2021).

Gráfico 4 - Relação entre a média do teor de umidade e os métodos aplicados para o solo



Fonte: A autora (2021).

A partir dos gráficos e dos resultados apresentados nos quadros, foi possível observar que para todas as amostras de solos e areias analisadas, o Método do Micro-ondas apresentou excelentes resultados quando comparado ao Termogravimétrico, considerado um método preciso, seguro e normatizado. Apesar do Método do Micro-ondas ainda não possuir referências normativas, é possível aplicar de um método rápido e prático para a determinação do teor de umidade, pois um fato muito relevante ao aplicá-lo foi a redução do tempo de secagem das amostras, que pelo método padrão utilizou-se o tempo equivalente a 24 horas, e pelo método alternativo o tempo de 6 minutos para a areia fina e de 8 minutos para as areias média, grossa e solo. Observou-se que o Método do Micro-ondas apresentou resultados semelhantes ao convencional, podendo ser utilizado com a mesma precisão que o Método Termogravimétrico.

Além de apresentarem características semelhantes quanto à rapidez na determinação do teor de umidade, o Método do Micro-ondas quando comparado ao Método da Frigideira, apresentou resultados muito favoráveis. Observou-se que

enquanto o Método da Frigideira apresentou a estabilização com o tempo de secagem de 20 minutos, o Método do Micro-ondas apresentou os mesmos resultados com o tempo de secagem inferior, entre 6 e 8 minutos. Dessa forma, quando o comparado ao Método da Frigideira, o Micro-ondas apresentou resultados ainda mais relevantes, considerando-se o tempo necessário para a determinação do teor de umidade.

Como observado nos gráficos e nos quadros, os resultados obtidos pelo Método *Speedy Test* para a determinação do teor de umidade de solos e areias apresentaram resultados discrepantes. Dessa forma, o Método *Speedy Test* quando comparado ao Método do Micro-ondas apresentou resultados abaixo do esperado, com diferenças consideráveis. Diversos fatores podem ter influenciado nestes resultados, dentre eles, pode-se citar a dificuldade de desagregação das partículas dos materiais presentes no interior do aparelho (RIBEIRO et al., 2018). Outro fato observado durante a execução dos ensaios foi a quantidade de carbureto de cálcio presente nas ampolas utilizadas para a execução do Método *Speedy Test*, pois algumas apresentavam quantidades variadas conforme a Figura 25.

Figura 25 - Quantidade de carbureto de cálcio presentes nas ampolas



Fonte: A autora (2021).

Sendo assim, mesmo com o Método do *Speedy Test* apresentando resultados abaixo do esperado, o Método do Micro-ondas quando comparado aos outros três métodos que possuem referências normativas, apresentou resultados muito confiáveis, sendo possível observar a sua eficácia em relação aos demais métodos analisados.

Por fim, a partir dos resultados dos ensaios, foi realizada a padronização para a determinação o teor de umidade com a utilização do forno micro-ondas através da criação de uma tabela de padronização, com o objetivo de determinar as características necessárias para realizar a sua execução, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de Padronização do Método do Micro-ondas

<b>Características do equipamento</b>	<b>Modelo:</b> MEO44/127V	<b>Potência:</b> 100 W	<b>Capacidade:</b> 34 litros
<b>Material</b>	<b>Tamanho das amostras</b>	<b>Tempo de secagem</b>	
Areia Fina	10 gramas	6 minutos	
Areia Média	10 gramas	8 minutos	
Areia Grossa	10 gramas	8 minutos	
Solo	10 gramas	8 minutos	

Fonte: A autora 2021.

Na Tabela 1 é possível observar a padronização do Método Micro-ondas para a secagem dos materiais, solo e agregado miúdo, relacionando as características do equipamento, o tamanho das amostras e o tempo de secagem.

## 5 CONCLUSÃO

Este projeto teve como intuito verificar a eficácia do Método Micro-ondas e compará-lo com os outros três métodos que já possuem referências normativas, tendo como principal objetivo analisar umidade de quatro materiais diferentes através de quatro métodos, permitindo uma comparação entre os quatro e a padronização para a determinação do teor de umidade do Método Micro-ondas, que ainda não possui uma padronização normativa.

Foram analisados a umidade de quatro materiais diferentes que incluíam solo, areia fina, média e grossa, através de quatro diferentes métodos. Após a finalização dos ensaios, concluiu-se que houve uma boa correlação entre do teor de umidade do solo e areias pelos métodos Micro-ondas, Termogravimétrico e Frigideira, podendo ser aplicados para a determinação do teor de umidade tanto em campo como em laboratório. Porém o Método *Speedy Test* quando comparado aos demais, apresentou diferenças nos resultados.

O Método do Micro-ondas devido a sua rapidez na obtenção de resultados e facilidade de execução, mostrou-se uma excelente alternativa para a determinação do teor de umidade e, em comparação com o método Termogravimétrico apresentou melhor viabilidade para a aplicação em campo, devido a sua facilidade de manuseio e locomoção, além do custo do equipamento utilizado ser relativamente menor, tornando-o um método que pode ser facilmente aplicado em campo. Além disso, foi possível desenvolver a sua padronização, estabelecendo as características necessárias para a sua execução como o tempo de secagem, a potência do aparelho e a quantidade de solo.

O Método da Frigideira apresentou resultados favoráveis para a sua aplicação com a estabilização de 20 minutos, porém o Método do Micro-ondas apresentou maior rapidez na determinação do teor de umidade com o tempo entre 6 e 8 minutos.

Quanto ao Método *Speedy Test*, os resultados do teor de umidade obtidos mostraram diferenças significativas quando comparado ao Método do Micro-ondas. Dessa forma, é importante a realização de procedimentos com o objetivo de

**UNILAVRAS**

Centro Universitário de Lavras

[www.unilavras.edu.br](http://www.unilavras.edu.br)



minimizar os erros durante o processo de execução dos ensaios, como a verificação da quantidade de carbureto de cálcio contida nas ampolas utilizadas, a fim de evitar interferências na leitura final do manômetro.

Para a execução dos diferentes métodos utilizou-se a mesma proporção de solo, areia e água. Sendo assim, dentre as sugestões para trabalhos futuros está o aumento desta proporção. Além disso, a partir dos resultados obtidos pelo método do Micro-ondas, sugere-se a aplicação de uma amplitude maior de amostras com diferentes teores de umidade, verificando se os tempos analisados na presente pesquisa serão suficientes para a sua secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, C. D. de. **Avaliação de uma sonda TDR helicoidal para a estimativa do teor de umidade dos solos em campo e laboratório**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-25062008-104550/pt-br.php>>. Acesso em: agosto de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: Referências, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097**: Solo - Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Referências, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Referências, 2016.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção - Vol. 1**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636632/epubcfi/6/10%5B%3Bvnd.idref%3Dcopyright%5D!4/62/1:73%5Bl.%20%2CDia%5D>>. Acesso em: julho de 2021.
- BRAJA, M. DAS. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- BUSKE, T.C; ROBAINA, A. D; PEITER, M. X; TORRES, R. R; ROSSO; R. B; BRAGA, F.V.A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-324, abr-jun, 2014. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/irriga.2014v19n2p315/967>>. Acesso em: dezembro de 2021.
- CALDERÓN, V. J. V. **Interpretação dos resultados de ensaios TDR para a determinação do teor de umidade dos solos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10062010-100734/publico/dissertacao.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2021.
- CAMARGO, A. P. de; COSTA, A. O. L. **Determinação rápida da umidade do solo pelo método da reação do carbureto de cálcio**. Bragantia, Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Campinas, São Paulo.1960. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/5jqHDhcMRpQgzf5xycD8ByH/?lang=pt>>. Acesso em: agosto de 2021.
- CAPUTO, H. P; CAPUTO, A. N. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos – Vol. 1**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CAVALCANTE A. A.; NAVEIRO R. M.; COSTA S. S. Secagem da Madeira de Louro Preto o (Nectandra cuspidata) em Estufa de Micro-ondas. **Revista Floresta e Ambiente**, 2016. v. 23, n. 3, p. 427-434, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/floram/a/b4HJwdmwD9QhygsxFjWJPn/?lang=pt>>. Acesso em: agosto de 2021.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/486994/1/Circ21.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2022.

CREMON C.; LONGO L.; MAPELI N. C.; SILVA L. A. M. SILVA W. M. Determinação da umidade de diferentes solos do Pantanal Mato-grossense via micro-ondas e método padrão. **Revista Agrarian**, Dourados, 2014, v. 7, n. 24, p. 280 – 288, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 052: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”**. Rio de Janeiro, 4 p., 1994.

FARIA, L. F. D.; GOMES, R. M. S.; SARMENTO, A. P.; FERNANDES, I. **Correlação dos teores de umidade obtidos através de diferentes métodos de ensaio**. Expressão In: 3º CONPEEX - Congresso de Pesquisa, Ensino, Extensão e Cultura - RC/UFG, Catalão, Goiás, Brasil. 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/320895701\\_CORRELACAO\\_DOS\\_TEORES\\_DE\\_UMIDADE\\_OBTIDOS\\_ATRAVES\\_DE\\_DIFERENTES\\_METODOS\\_DE\\_ENSAIO](https://www.researchgate.net/publication/320895701_CORRELACAO_DOS_TEORES_DE_UMIDADE_OBTIDOS_ATRAVES_DE_DIFERENTES_METODOS_DE_ENSAIO)>. Acesso em: agosto de 2021.

LACERDA M. J. R.; FREITAS K.R.; SILVA J.W., Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de micro-ondas e convencional. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia, 2009. v. 25, n. 3, p. 185 - 190, 2009. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6901>>. Acesso em: agosto 2021.

LUCAS; F. R. de O. **Validação do método speedy para a determinação da umidade de diferentes tipos de solos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4630/1/FranciscoROL\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4630/1/FranciscoROL_ART.pdf)>. Acesso em: agosto de 2021.

MAGALHÃES, R. S.; LIMA, R. M. F.; SOUZA, H. A. de. O uso de micro-ondas para a determinação de umidade de bauxita. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 2013, v. 56, n. 4, p. 255 – 259, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rem/a/vyQF36KCXXmk3Q8qtXGDpCS/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: agosto de 2021.

MATTANA, A. J.; MEDEIROS, M. H. F. de; SILVA, N. G. da S; COSTA do, R. M. M. C. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/6LhHp6LYh6CVrtkmSf5FyyM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: dezembro de 2021.

MIRANDA, E. P.; MARTINS, G. S.; CARMO, F. F.; LIMA, L. D. P.; SILVA, F. M. **Uso do forno micro-ondas na determinação da umidade de um solo franco-siltoso**. Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, Fortaleza, Ceará, Brasil. 2012.

NERY M. C.; CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, L. M. Determinação do grau de umidade de sementes de Ipê-do-cerrado *Tabebuia ochracea* pelos métodos de estufa e forno micro-ondas. **Ciência e Agrotec.**, Lavras, 2004, v. 28, n. 6, p. 1299 – 1305, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/KZRNYk47YnFYrt5fYLFCDxt/?lang=pt>>. Acesso em: agosto de 2021.

OLIVEIRA L. F. C.; ROQUE C. G. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho Amarelo do Serrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, 2016. v. 3, n. 4, p. 60- 64, out-dez., 2016. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1163/1158>>. Acesso em: agosto de 2021.

PEREIRA, S. M. **Aplicação de secagem por micro-ondas no tratamento de cascalho de perfuração**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15070/1/AplicacaoSecagemMicroondas.pdf>> . Acesso em: agosto de 2021.

RIBEIRO, K. M.; CASTRO, M. H. de 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 speed na determinação do teor de água no solo**. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Tupã, São Paulo, Brazil, v. 12, n. 1, p. 18–28, 2018. Disponível em: <<https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/615>>. Acesso em: agosto de 2021.

RODRIGUES M. G. A.; ARAUJO G. L. **Determinação da umidade do solo por meio do forno micro-ondas**. In: II SEMIÁRIO CIENTÍFICO DA FACIG, 2., 2016, Manhuaçu, Minas Gerais: FACIG, 2016. p1-4. Disponível em: <<http://pensaracademico.facig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/viewFile/119/99>>. Acesso em: agosto de 2021.

SANTOS, M.; TAVEIRA, M. R; TAVARES, A. C. S; ALVES JUNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P. **Determinação do conteúdo de água de solo pelo método da frigideira em um latossolo vermelho escuro**. In: Congresso de Pesquisa, ensino e extensão da Universidade de Goiás, Goiânia, 2011. Cerrado: Água, Alimento e Energia. Goiânia: UFG, 2011. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-marcio-rodrigues.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.



SERAFIM R. S.; ANTONELI A.; SANTOS M.A.T. Determinação da matéria seca e proteína bruta pelo método convencional de micro-ondas. **Revista Animal Science**, Uberaba, 2017, n. 11, p. 39 - 43, 2017.

SILVA, D. O. M. da. **Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013. Disponível em: <<https://portais.univasf.edu.br/ppgea/pesquisa/publicacoes-1/arquivos/danillo-olegario-matos-da-silva.pdf>>. Acesso em: agosto de 2021.

SOUZA, A. F. M.; COELHO, J. A. Comparação da compactação de solos executadas por compactador mecânico e manual. **Geocentro**, Brasília, 2019. Disponível em: <<https://qe.iweventos.com.br/upload/trabalhos/t1arquivo/DkRogltTkYSmhFA6kZ0MOSETGhp6.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2021.

SOUZA G. B.; NOGUEIRA A.R.A.; RASSINI J. B. Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno micro-ondas doméstico. **Circular Técnica 33, Ministério Agricultura Pecuária e Abastecimento**, São Carlos, 2002, p. 1-9, 2002.

TAVARES M. H. F.; CARDOSO D.L.; GENTELINI D. P.; FILHO A. G.; KONOPATSKI, E. A., Uso do forno micro-ondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solos. **Semina: Ciências agrária**, Londrina, 2008. v. 29, n. 3, p. 529-538, jul-set, 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2764>>. Acesso em: agosto 2021.

VIELMO; A. L. **Limite superior da retenção da água no solo: método de campo e método de estimativa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp065215.pdf>. Acesso em: dezembro 2021.