

FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR MEIO DO FORNO MICRO-
ONDAS**

Meire Galdino Alves Rodrigues

Manhuaçu - MG
2017

MEIRE GALDINO ALVES RODRIGUES

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR MEIO DO FORNO MICRO-
ONDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Superior de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu,
como requisito parcial à aprovação à obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil
Orientador: Dr. Glaucio Luciano Araujo

Manhuaçu - MG
2017

MEIRE GALDINO ALVES RODRIGUES

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR MEIO DO FORNO MICRO-
ONDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Superior de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu,
como requisito parcial à aprovação à obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil
Orientador: Dr. Glaucio Luciano Araujo

Banca Examinadora

Data da Aprovação: ____ / ____ / ____.

Dr. Glaucio Luciano Araujo; FACIG.

Ms. Tauana de Oliveira Batista; FACIG.

Especialista Leandro Jose de Lima; FACIG.

RESUMO

O teor de água de um solo conhecido como umidade é definido como a razão entre a massa de água contida em uma amostra de solo pela massa de solo seco, sendo expressa em quilogramas de água por quilogramas de solo. Tradicionalmente a umidade do solo vem sendo determinada pelo método considerado como padrão, o método termogravimétrico, utilizando uma estufa para o aquecimento do solo e evaporação da água. No entanto este método traz o grande inconveniente da demora na obtenção dos resultados. Neste trabalho científico foi estudada a possibilidade da utilização do forno micro-ondas na determinação da umidade do solo, visando dar agilidade ao processo de estimativa do teor de água nos solos. Os resultados de umidade do solo obtidos por meio do forno micro-ondas foram comparados com resultados obtidos pelo método padrão de estufa. Foi realizada uma análise de regressão linear com nível de confiança de 95%. De acordo com os resultados, conclui-se que o método pode ser utilizado para a estimativa da umidade no solo, apresentando elevada correlação entre valores estimados e observados, podendo ser comprovado pelo elevado coeficiente de determinação, 0,997.

Palavras-chave: Teor de água no solo; Métodos alternativos; Estimativa da água no solo.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Determinação da umidade do solo utilizando a frigideira.....	10
FIGURA 2 – Aparelho de Reflectometria no domínio do tempo (TDR)	11
FIGURA 3 – “Speedy” Aparelho para determinar a umidade do solo por meio do carbureto de cálcio	12
FIGURA 4 – Amostras de solo umidificadas	13
FIGURA 5 – Detalhe das amostras no micro-ondas.....	14
FIGURA 6 – Umidade do solo obtida pelo método do forno micro-ondas em função da umidade do solo obtida pelo método padrão de estufa termo gravimétrico	15

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Análise de variância da regressão linear dos valores estimados de umidade do solo utilizando o forno micro-ondas em função dos valores de umidade do solo estimados utilizando o método padrão de estufa termo gravimétrico.15

TABELA 2 – Coeficientes da regressão linear entre os valores estimados de umidade do solo utilizando o forno micro-ondas em função dos valores de umidade do solo estimados utilizando o método padrão de estufa termo gravimétrico.15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESENVOLVIMENTO	7
2.1. Umidade do Solo.....	7
2.1.1. A importância da Umidade do Solo para a Construção Civil	8
2.2. Métodos para Determinar a Umidade do Solo	9
2.2.1. Método Padrão de Estufa.....	9
2.2.2. Método da Frigideira.....	10
2.2.3. TDR	10
2.2.4. Speedy	11
2.2.5. Método do Forno Micro-ondas.....	12
2.3. Metodologia.....	13
2.4. Resultados e Discussão	14
3. CONCLUSÃO	17
4. REFERÊNCIAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

Os solos são constituídos por conjuntos de partículas que podem possuir diâmetro variáveis e conter água em seus espaços vazios. Na engenharia a compactação e a resistência dos solos são fatores de extrema importância e como a densidade relativa influencia diretamente o comportamento mecânico e hidráulico dos solos, têm-se a necessidade pela busca de métodos mais rápidos e eficientes para a estimativa da umidade do solo, com isso vários estudos foram produzidos para validar o uso do forno micro-ondas na determinação da umidade dos solos.

A umidade do solo ou teor em água é definida como relação entre a massa de água contida em uma amostra de solo pela massa de solo seco, sendo expressa em quilogramas de água por quilogramas de solo. Para determinação do peso seco e da massa de água, o método tradicional é a secagem em estufa, conhecido também como padrão gravimétrico, na qual a amostra é mantida com temperatura entre 105 °C e 110 °C, até que apresente peso constante, o que significa que ela perdeu sua água por evaporação. O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância, pois indica em que condições hídricas o solo se encontra.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA - (1997), a metodologia para a determinação de umidade nos solos que utiliza a estufa é um método consagrado. Entretanto, quando se pretende rapidez em se conhecer a umidade dos solos, tal método não é eficiente, pois o intervalo de tempo adequado para se realizar a secagem é longo. Conforme Benke e Kearfott (1999), a dependência do teor de umidade com o tempo de secagem da amostra em estufa pode ser expressa por meio de uma função Gaussiana com dois parâmetros, sendo que a umidade inicial das amostras não afeta o resultado final. Diferentes alternativas ao emprego da estufa têm sido propostas, sendo uma delas a aplicação do forno micro-ondas. Miller, Smith e Biggar (1974) propuseram o uso do forno de micro-ondas comercial, o que diminui sobremaneira o tempo de secagem, o qual é função do número de amostras, do tamanho e potência do forno, do teor de umidade inicial, da massa da amostra e do tipo de solo.

O processo de secagem do solo por meio do emprego da radiação eletromagnética baseia-se no fato da molécula de água ser um dipolo elétrico natural, os quais sofrem rotação quando expostos a um campo eletromagnético. Segundo Aguilar (2001), o atrito molecular resultante gera calor instantâneo e uniformemente na amostra de solo, reduzindo a umidade. Já o comportamento de materiais ferromagnéticos na presença de campos elétricos externos, tais como o campo magnético de uma onda eletromagnética do tipo micro-onda (GUIMARÃES, 1998), é determinado pela origem de seus dipolos magnéticos e pela natureza da interação entre eles. Assim, solos com altos teores de ferro apresentam comportamento peculiar, quando submetidos à radiação eletromagnética.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade da adoção do forno micro-ondas para determinações rotineiras da umidade dos solos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Umidade do Solo

Os solos são constituídos por conjuntos de partículas que podem possuir diâmetros variáveis e conter água em seus espaços vazios. O solo é um meio poroso granulado basicamente de rochas intemperizadas, ar, matéria orgânica e

água. A fração sólida, ou matriz do solo, apresenta variações bastante lentas no tempo, ao passo que as quantidades de ar e água que preenchem os interstícios dos poros variam com facilidade e rapidez. A parte líquida do solo constitui-se essencialmente de água, contendo materiais dissolvidos e orgânicos solúveis (REICHARDT, 1987).

Denomina-se umidade do solo a quantidade de água por volume de solo que existe em um terreno. Sua medida exata é feita gravimetricamente, pesando uma amostra de terra antes e depois da secagem.

O conteúdo de água de um solo é um de seus atributos mais importantes, e um dos mais variáveis. O deslocamento e a reciclagem de vários elementos químicos, o desenvolvimento dos processos bioquímicos do solo, o crescimento de plantas e uma série de outras propriedades físicas do próprio solo como densidade, resistência à penetração e tensão de cisalhamento, são significativamente influenciadas pelo teor de água. Sua quantificação é, portanto, de grande relevância para várias atividades (CICHOTA, 2003).

A umidade natural é uma relação gravimétrica definida como a relação entre o peso da água e o peso de sólidos em um determinado volume de solo de acordo com a equação abaixo:

$$h = \frac{M_a}{M_s} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,

h: umidade

M_a: massa de água

M_s: massa de solo seco

Na maioria dos casos, a umidade natural é expressa como uma porcentagem. A umidade natural é uma propriedade física do solo e é muito útil na construção civil sendo obtida de forma simples, pois o comportamento e a resistência dos solos na construção são regidos pela quantidade de água que eles contêm.

2.1.1. A importância da Umidade do Solo para a Construção Civil

Esta propriedade física do solo é muito útil na construção civil e é obtida de forma simples, pois o comportamento e a resistência dos solos na construção são regidos pela quantidade de água que eles contêm. O teor de umidade de um solo é a proporção da proporção em peso das partículas sólidas para o peso da água armazenada, isto é expresso em termos de porcentagem.

Como apontou Terzaghi (1936), o solo não é um material bem definido, como o concreto ou aço. Na verdade é um material heterogêneo e demasiadamente complexo para tratamentos teóricos rígidos. Sendo assim, o conhecimento das características do solo não deve ficar somente dentro área da mecânica pura ou do empirismo. Deve-se buscar sempre o entendimento completo, ou seja, com estudos na área da química e da física coloidal, que são também, partes integrantes da Mecânica dos Solos (PESSOA, 2004).

O processo de obtenção do teor de umidade de uma amostra é feito em laboratórios, o equipamento de trabalho consiste em um forno onde a temperatura pode ser controlada, uma vez que a amostra do sólido no estado natural é levada ao forno.

O solo é aquecido a uma temperatura de mais de 100 graus Celsius, para produzir a evaporação da água e seu escape através das janelas. Deve ter cuidado para não exceder o limite, de modo a não correr o risco de que o solo seja cremado com a alteração do quociente da determinação do teor de umidade. O material deve permanecer um período de doze horas no forno, por isso é costume começar a aquecer a amostra de solo no final do dia, de modo que ele desidrate durante a noite.

Após 12 horas de secagem da amostra de tamanho normal, procedemos a remover e pesar, para obter o peso do solo seco. O peso da água será a diferença entre o peso da amostra no estado natural e a amostra de solo seco.

2.2. Métodos para Determinar a Umidade do Solo

Os métodos para determinação do conteúdo de água no solo são divididos em métodos diretos ou indiretos. Os diretos ou gravimétricos baseiam-se na pesagem de amostras de solo úmido e depois da secagem, realizada em estufa a 105 °C (GARDNER, 1986). A diferença entre as duas medidas representam a massa de água presente naquela amostra, com a quantificação destas massas determina a umidade gravimétrica do solo.

Os métodos indiretos utilizam uma propriedade física do solo que é dependente da quantidade de água presente nele (GARDNER, 1986). Existem vários processos e equipamentos que permitem a determinação indireta do teor de água do solo, como por exemplo, os métodos elétricos (resistência ou a capacitância do solo), os térmicos (condutividade térmica), os radioativos (atenuação de nêutrons rápidos ou de raios gama), a tensiometria (potencial matricial) e a reflectomia no domínio do tempo (constante dielétrica relativa), entre outros (CICHOTA, 2003).

A principal vantagem dos métodos indiretos e não destrutivos é a repetibilidade da leitura num mesmo ponto, pois após serem instalados permanece utilizável por certo tempo, sem a necessidade de revolver o solo. Muitas vezes também podem ser automatizados. A principal desvantagem desses métodos, entretanto, é que em geral as propriedades utilizadas não são unicamente dependentes do conteúdo de água do solo, podendo alterar a relação entre a resposta do método e a umidade do solo.

2.2.1. Método Padrão de Estufa

O método da estufa (padrão) é o mais utilizado na determinação do conteúdo de água do solo, esse método apresenta elevada precisão, razão pela qual serve de referência na calibração dos outros procedimentos. As amostras são retiradas em vários locais e profundidades, no campo, podendo constituir-se de amostras simples ou compostas. Essas amostras podem ser deformadas, utilizando-se trados comuns, ou não deformadas, de volume conhecido, usando trados especiais (EMBRAPA, 1997).

Segundo Santos *et al.* 2007 o principal inconveniente deste método é a demora no tempo de resposta (24 horas), além da necessidade de utilizar estufa e balança de precisão. O método padrão da estufa proporcionou o surgimento de uma série de outros métodos alternativos, que variam entre si em função da fonte de calor utilizada para a eliminação do conteúdo de água da amostra de solo. Dentre eles destacam-se: o método do forno micro-ondas, o método do álcool, o Speedy, TDR e o método da frigideira.

2.2.2. Método da Frigideira

Santos *et al.* (2007, p.3) afirma que o método da frigideira é um método simples, prático e rápido de se obter a umidade do solo em base de massa. Procedimento este que consiste em secar uma determinada amostra de solo em uma frigideira por meio de um fogareiro. As principais vantagens do método são a significativa redução no tempo de secagem e possibilidade de ser empregado diretamente no campo. Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade da adoção do método da frigideira para determinação da umidade do solo.

Esse método é pouco preciso, e pode deixar em dúvida quanto à veracidade de suas medições.

FIGURA 1 – Determinação da umidade do solo utilizando a frigideira



Fonte: Souza, 2007.

2.2.3. TDR

A técnica da reflectometria de micro-ondas, aqui denominada TDR (Time Domain Reflectometry), foi introduzida recentemente no Brasil. Segundo Herrmann Jr. (2001), uma das mais importantes técnicas que veem sendo amplamente utilizada para medidas “in situ” são as interações de ondas eletromagnéticas com o solo. Para o autor, do ponto de vista eletromagnético, o solo é considerado uma mistura de quatro composições dielétricas, consistindo de ar, volume do solo, da água ligada e da água livre. Uma molécula de água ligada ao solo interage com uma onda eletromagnética incidente, diferente daquela da molécula de água livre. Exibindo, deste modo, um espectro de dispersão dielétrica que é muito diferente da água livre.

Para Herrmann *et al.* (1986) um dos aspectos interessantes na utilização de ondas eletromagnéticas, na faixa de micro-ondas, para a medida de umidade do solo, é a versatilidade na utilização dos fenômenos que a técnica permite, como a transmissão de guias de ondas e a correlação com o teor de água em um meio poroso. O fenômeno da reflexão através de medidas com o TDR é o espalhamento de micro-ondas para estudo da constante dielétrica de um meio poroso.

Topp *et al.* (1980), Or *et al.* (2003) e Tomasselli (2001), notam as seguintes observações quanto a vantagens e desvantagens da técnica TDR: a técnica TDR quando utilizada para medir o teor de água no solo, supera outras técnicas em 1%

ou 2% em termos de precisão; para solos conhecidos suas calibrações requeridas são mínimas; não dispõe de técnicas de radiação: emissão de nêutrons ou raios gama; possui uma excelente resolução espacial e temporal das análises; as medidas são obtidas sem maiores dificuldades, além de permitir uma automação para armazenagem de dados; não é uma técnica destrutiva; o equipamento tem um elevado custo; para solos desconhecidos é necessário efetuar calibração, o que vem a ser trabalhoso.

FIGURA 2 – Aparelho de Reflectometria no domínio do tempo (TDR)



Fonte: Souza, 2007.

2.2.4. Speedy

Este método consiste em misturar uma amostra de solo previamente pesada com carboneto de cálcio moído em uma câmara hermeticamente fechada, que possui um manômetro na base que registra a pressão gerada pelo gás acetileno, distribuindo indiretamente a umidade do solo referida peso molhado da amostra. A limitação é que este método proporciona resultados falsos em solos plásticos e também a amostra utilizada é de tamanho muito pequeno.

O Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER,1994) tem aplicado o princípio da reação química da água com o carbureto de cálcio. Este procedimento se caracteriza pela sua rapidez no fornecimento de resultados e pode ser aplicado em condições de campo, porém, é muito trabalhoso. O equipamento empregado possui um manômetro que pode perder frequentemente a calibração, o que sem dúvida interfere na precisão dos resultados.

A determinação do teor de umidade de solos e agregados miúdos com a utilização deste método tem base na reação química da água existente em uma amostra com o carbureto de cálcio, realizada em ambiente confinado, pesa-se uma amostra e coloca-se na câmara do aparelho "Speedy", introduzem-se na câmara duas esferas de aço, seguidas da ampola de carbureto de cálcio, deixando-a

deslizar com cuidado pelas paredes da câmara, a fim de evitar que se quebre, fecha-se o aparelho, agita-se o repetidas vezes para quebrar a ampola, o que se verifica ter ocorrido pelo surgimento da pressão assinalada no manômetro, lê-se a pressão manométrica após esta se apresentar constante, o que indica que toda água existente na amostra reagiu com o carbureto (DNER, 1994).

A leitura dessa pressão em um manômetro permite a avaliação da quantidade de água em uma amostra, e em consequência, de seu teor de umidade.

FIGURA 3 – “Speedy” Aparelho para determinar a umidade do solo por meio do carbureto de cálcio



Fonte: Souza, 2007.

2.2.5. Método do Forno Micro-ondas

É o método que utiliza o forno micro-ondas comercial para a secagem das amostras de solo. Apresenta como vantagem principal a redução no tempo de secagem da amostra, o qual varia em função do número de amostras colocadas para secar, do tamanho da amostra, da umidade, do tipo de solo e da potência do forno micro-ondas utilizado (DAL PRÁ, 2008; FRANCO, 2009). O processo de secagem do solo por meio do emprego da radiação eletromagnética baseia-se no fato da molécula de água ser um dipolo elétrico natural, os quais sofrem rotação quando expostos a um campo eletromagnético.

Segundo Aguilar (2001), o atrito molecular resultante gera calor instantâneo e uniformemente na amostra de solo, reduzindo a umidade. Já o comportamento de materiais ferromagnéticos na presença de campos elétricos externos, tais como o campo magnético de uma onda eletromagnética do tipo micro-onda (GUIMARÃES, 1998), é determinado pela origem de seus dipolos magnéticos e pela natureza da interação entre eles. Assim, solos com altos teores de ferro apresentam comportamento peculiar, quando submetidos à radiação eletromagnética.

Oliveira (1979) testou a aplicabilidade de um forno de micro-ondas comercial para determinação de umidade através da secagem de amostras de solo. Os resultados mostraram que as umidades obtidas da secagem por micro-ondas não foram muito diferentes daqueles obtidos através do método gravimétrico.

Segundo Bernardi *et al.* (2007) o custo total da análise por este método é reduzido em 61%, em relação ao método padrão. O aumento do número de análises e a alteração do equipamento utilizado permitem que o custo de energia, que representava 6% do custo total no método convencional, ficasse próximo de 1% no método alternativo. Neste trabalho os pesquisadores concluíram que o tempo de secagem de 120 segundos foi suficiente para a estabilização de massa no solo estudado.

2.3. Metodologia

Foi utilizado um solo característico da região, denominado latossolo vermelho amarelo. As amostras de solo utilizadas foram secas ao ar, peneiradas com peneira de 2,00 mm de abertura, e posteriormente foram secas em estufa a 110 °C por 24 horas.

O solo depois de seco foi dividido e acondicionado em nove sacos plásticos, sendo distribuídos 0,5 quilogramas de solo por saco. Na primeira porção de solo acondicionada no primeiro saco, foi adicionada uma porção de água equivalente a 1% do peso de solo seco, no segundo foi adicionado 5%, no terceiro 10%, no quarto 15%, no quinto 20%, no sexto 25%, no sétimo 30%, no oitavo 35% e no nono 40% de água. Este procedimento foi realizado no intuito de avaliar o método com diferentes teores de umidade no solo. Depois de adicionada a água em cada saco o solo foi homogeneizado, acondicionado e fechado hermeticamente por 72 horas para melhor distribuição da água em toda a amostra.

FIGURA 4 – Amostras de solo umidificadas



Fonte: O autor, 2016.

Decorrido o tempo, foram retiradas três porções de solo de cada um dos nove sacos plásticos contendo o solo úmido, aproximadamente 20 gramas em cada porção, para a determinação do teor médio de umidade por meio do método padrão de estufa (EMBRAPA, 1997), estes valores foram utilizados como referência para testar o método do forno micro-ondas.

A determinação do teor de umidade utilizando o forno micro-ondas foi conduzida em forno da marca Eletrolux modelo MEF41. As determinações foram efetuadas com nível de potência alta (100%), com as amostras de solo acondicionadas em *beckers* de vidro. Foram empregados aproximadamente 20 gramas de solo para cada amostra.

FIGURA 5 – Detalhe das amostras no micro-ondas



Fonte: O Autor, 2016.

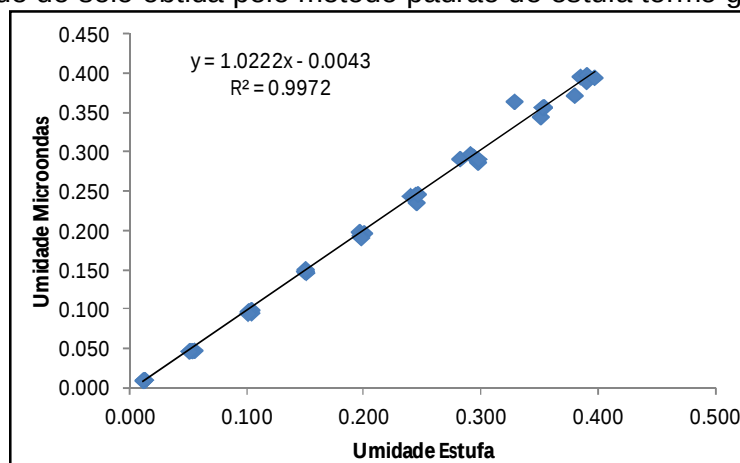
Inicialmente, as amostras foram submetidas a um tempo de 120 segundos no forno de micro-ondas, e em seguida, retiradas e transferidas para um dissecador a fim de perderem calor, posteriormente pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,01g. Este procedimento foi repetido de 120 em 120 segundos, até a estabilização da massa da amostra, conforme metodologia proposta pelo *Texas Department of Transportation* (2002).

Os valores médios de umidade, determinados por meio do uso do forno micro-ondas, foram empregados para ajustar as equações de regressão, relacionando o valor de referência do método padrão. As análises de regressão realizaram-se com o nível de confiança igual a 95%.

2.4. Resultados e Discussão

A Figura 6 apresenta os resultados de umidade obtidos pela metodologia do forno micro-ondas em função dos valores de umidade do método padrão de estufa termo gravimétrico.

FIGURA 6 – Umidade do solo obtida pelo método do forno micro-ondas em função da umidade do solo obtida pelo método padrão de estufa termo gravimétrico



Fonte: O Autor, 2016.

Na Figura 6 é possível observar que existe elevada concordância entre a umidade estimada pelo método do forno micro-ondas, como o método padrão de estufa termo gravimétrica, fato que pode ser comprovado pelo elevado valor do coeficiente de determinação apresentado e pelos valores de resíduos individuais de cada uma das amostras.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de variância da regressão linear entre os valores estimados pelo método do forno micro-ondas e os valores do método padrão de estufa termo gravimétrico.

TABELA 1 – Análise de variância da regressão linear dos valores estimados de umidade do solo utilizando o forno micro-ondas em função dos valores de umidade do solo estimados utilizando o método padrão de estufa termo gravimétrico.

	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F de significação
Regressão	1	0,71616	0,71616	15064,29387	0,00000
Resíduo	43	0,00204	0,00005		
Total	44	0,71820			

Fonte: O Autor, 2016.

Na tabela 1 a regressão apresentou baixos valores para soma de quadrados e para o quadrado médio indicando baixa variabilidade do método testado, assim como o valor do quadrado médio do resíduo, resultando em um valor elevado para o teste F, indicando que pelo menos um dos coeficientes da regressão é diferente de zero, considerando 95% de confiança. A Tabela 2 apresenta a significância de cada um dos coeficientes da regressão linear.

TABELA 2 – Coeficientes da regressão linear entre os valores estimados de umidade do solo utilizando o forno micro-ondas em função dos valores de umidade do solo estimados utilizando o método padrão de estufa termo gravimétrico.

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
Linear	-0,0043	0,0019	-2,1960	0,0335
Angular	1,0222	0,0083	122,7367	0,0000

Fonte: O Autor, 2016.

Na Tabela 2, a proximidade de zero do coeficiente linear indica a fidelidade do método com a realidade, ou seja, quando o solo apresentar um teor de umidade próximo à zero, o método também irá indicar um valor próximo à zero, demonstrando sua fidelidade com a realidade.

A proximidade do coeficiente angular da unidade indica a fidelidade do método do forno micro-ondas com o método padrão de estufa termo gravimétrico, indicando pequena superestimava dos valores de umidade. Tanto o teste T quanto o valor P, indicam que os coeficiente são diferentes de zero, considerando 5% de significância.

Conforme estudo realizado por Tavares *et al.* (2008) ao comparar os resultados obtidos na determinação da umidade no solo, entre o método do forno micro-ondas e os valores fornecidos pelo método da estufa convencional, usando nove solos, com diferentes texturas, conclui-se que os resultados obtidos por meio não diferiram entre si. Contudo, observou-se que no método do forno micro-ondas, as variações entre as repetições diminuíram com o tamanho da amostra e com a percentagem de partículas finas no solo. Estes pesquisadores, ainda, afirmam que as análises de regressão entre as variáveis, tempo e umidade, apresentaram ajuste potencial do tipo $y = kx^n$, com elevada correlação ($R^2 = 0,9997$) para todos os solos estudados. Os valores do expoente n, todos próximos da unidade, indicaram que o mecanismo de retirada da água por micro-ondas apresentou um comportamento próximo ao linear em função do tempo e que os teores de umidade inicial e a massa de solo não influenciaram o processo.

Vinholis *et al.* (2008), também verificaram o uso do micro-ondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas, considerando aspectos econômicos, social e ambiental, concluíram que o uso de micro-ondas para determinação do conteúdo de água em solo permite otimizar atividades de irrigação em sistemas intensivos de produção agrícola, gerando impacto positivo do ponto de vista econômico, social e ambiental nos sistemas de controle da qualidade e de produção agrícola. Resultados similares foram obtidos por Souza *et al.* (2002), relatando que o procedimento proposto apresenta-se como uma alternativa ao método convencional de secagem (método padrão de estufa).

Fonseca *et al.* (2009), em trabalho realizado com o objetivo de comparar o método do forno de microondas com o método padrão de estufa, a fim de comprovar sua confiabilidade na determinação de umidade do solo, atesta que os resultados estimados por meio do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo não difere estatisticamente do método padrão de estufa, constituindo uma metodologia confiável e que pode ser facilmente utilizada na determinação da umidade do solo. A umidade do solo, embora seja um conceito físico simples, apresenta dificuldades na sua determinação, de forma a se obter um valor representativo devido à inerente variabilidade espacial e temporal das características físicas do solo (GONÇALVES *et al.*, 1999). Existem várias maneiras de se medir a umidade de um solo, segundo métodos diretos ou indiretos, cada qual apresentando determinada precisão, tempo de resposta e custo do equipamento envolvido.

Com base nos resultados obtidos, é possível validar a potencialidade do emprego do forno micro-ondas na determinação do teor de umidade do solo. Com o uso do forno micro-ondas elimina-se o tempo de secagem do solo, que pelo método padrão seria de 12 a 72 horas, enquanto que utilizando o forno micro-ondas diminui significativamente esse tempo e o consumo de energia, obtendo a mesma precisão que o método da estufa.

3. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados é possível verificar que, a aplicação do método do forno micro-ondas não difere estatisticamente do método padrão de estufa, e o teor de umidade no solo pode ser estimado de forma rápida, a partir dos valores de umidade obtidos no forno micro-ondas. Observando os elevados coeficientes de determinação obtidos na análise de regressão do solo ($R^2=0,9972$), em que os expoente da equação fica muito próximo de 1, pode-se afirmar que, o mecanismo de retirada da água do solo por meio do micro-ondas apresenta um comportamento quase linear. Conclui-se que o método do forno micro-ondas é um método eficiente para a determinação da umidade do solo, podendo ser utilizado em análises de rotina.

4. REFERÊNCIAS

AGUILAR, J. A. G. Procesamiento de materiales por medio de microondas em la FIME. **Ingenierías**, v.4, p.32-39, 2001.

BENKE, R. R.; KEARFOTT, K. J. Soil sample moisture content as a function of time during oven drying for gamma-ray spectroscopic measurements. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, v.422, p.817-819, 1999.

BERNARDI, A. C. de C. et al. **Tecnologias da Embrapa Pecuária Sudeste para a agricultura familiar** [Recurso Eletrônico] – São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.25p. Disponível em <http://www.cppse.embrapa.br/servicos/publicacaogratis/documentos/Documentos75.pdf/view>. Acesso em: 17 set. 2012.

CICHOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DAL PRÁ, B. R. **Desenvolvimento de sistema para controle de umidade de solo em pequenas propriedades rurais**. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER. **Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”**. Método de Ensaio (DNER-ME 052/94). Brasília, 1994. 8 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FONSECA, S. O.; ARAÚJO, G. L.; FARIA, B. H. G.; LIPARIZI JUNIOR, A.; COSTA, J.; REIS, E. F. Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-

Graduação. 2009, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: UNIVAP, 2009. p. 1-4.

FRANCO, E. M. **Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratos de solução.** 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2009.

GARDNER, W.H. Water content. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis I: Physical and mineralogical methods.** Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap.21, p. 493-544.

GONÇALVES, A. C. A. et al. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.155-164, 1999.

GUIMARÃES, A. P. **Magnetism and magnetic resonance in solids.** New York: John Wiley & Sons, 1998.

HERMMANN Jr., P. S. Aspectos básicos da reflectometria no domínio do tempo (TDR) e potencialidades de aplicação na física do solo. In: MATSURA, E. E. et al. **Aplicações da técnica de TDR na agricultura.** Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2001 p.37-50.

HERMMANN Jr, P. S.; CONCIANI, W.; SOARES, M. M.; CRESTANA, S. Determinação da constante dielétrica relativa de um meio poroso através de micro-ondas (RDT). In: PACHECO, M. T. T., coord. Instrumentação: catálogo de trabalhos completos submetidos ao Grupo de Instrumentação do XIX Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 1986. São José dos Campos. **Anais...** UNIVAP-ID&D. 1986, p. 107-111.

MILLER, R. J.; SMITH, R. B.; BIGGAR, J. W. Soil water content: microwave oven method. **Proceedings Soil Science Society of America**, Madison, v. 38, n. 3, p. 535-537, 1974.

OLIVEIRA, G. R. de. **Determinação da umidade do solo por radiações de microondas.** 1979. 52f. Tese (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1979.

OR, D. et al. **WinTDR:** – Soil analysis software: users guide (USU Soil Physics Group), version 6.0. 2003. Chap. 9, p. 4.

PESSOA, F. H. C. **Análise dos solos urucus para fins de uso rodoviário.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB. Brasília, DF, Brasil. 2004.

REICHARDT, K, **Água em sistemas agrícolas.** São Paulo; Manole, 1987. 188p.

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 Federal de Goiás**, Goiânia: UFG, 2011.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; RASSINI, J. B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de micro-ondas doméstico**. EMBRAPA: São Carlos, 2002. (Circular Técnica Nº 33).

TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; GENTELINI, D. P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E. A. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, p.529-538, 2008.

TERZAGHI, K. **Mecanismo de escorregamento de terra**. São Paulo: DLP, 1936.

TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – TDT. **Manual of testing procedures**. Texas: TDT, 2002.

TOMMASELLI, J. T. G. **Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, n.9, p. 1145-1154, 2001.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Eletromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, v.16, p.574-582, 1980.

VINHOLIS, M. M. B.; SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; PRIMAVESI, O. Uso do micro ondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: Avaliação econômica, social e ambiental. **Custos e Agronegócio on line**, v.4, n.2, 2008.