

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS TDR (*Reflectometria por Domínio do Tempo*) E MODERAÇÃO DE NÊUTRONS, NA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DE SOLO.

WAGNER ROBERTO BATISTA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP- Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS TDR (*Reflectometria Por Domínio do Tempo*) E MODERAÇÃO DE NÊUTRONS, NA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DE SOLO.

WAGNER ROBERTO BATISTA

FÍSICO

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP- Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2004

DEUS

Não existem menções, dedicações, oferecimentos e agradecimentos que poderiam expressar na íntegra, o meu sentimento de realização e felicidade. Mesmo eu tendo faltado, sempre olhou por mim. Para Ti, não só ofereço meu trabalho, mas minha vida.

Wagner

MENÇÃO ESPECIAL

Aos meus Pais Aparecido Batista e Maria Inês Ortelan Batista, que sempre me apoiaram incondicionalmente. A eles externo meu infinito carinho e minha eterna gratidão.

Wagner

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos por ter acreditado em mim, pela dedicação, apoio e presteza sempre que necessitei. Jamais teria obtido êxito neste trabalho sem sua orientação. Sinto-me à vontade ao considerá-lo mais que um orientador, um grande amigo. Minha eterna gratidão.

Wagner

HOMENAGEM ESPECIAL

OFEREÇO

Aos meus queridos pais, Aparecido e Maria Inês, minhas irmãs Daniele e Heloisa, e o mais novo integrante da família, meu sobrinho Leonardo.

DEDICO

A Mara Cléia Trevisan, pelo carinho e companheirismo. Sentimentos de grande valia para um relacionamento eterno e terno.

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu por ter acreditado em meu potencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela disponibilidade em ajudar sempre.

A EMBRAPA Instrumentação Agropecuária unidade de São Carlos-SP, nas pessoas de Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz e Dr. Ladislau Martin Neto, pelo pronto atendimento e empréstimo do equipamento TDR para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos, pela orientação segura, atenção, dedicação e sinceridade em todas as fases deste curso.

Ao Prof. Dr. Yukio Kobayashi do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP de Bauru, pela confecção da sonda para o TDR.

Ao Prof. Dr. Ivo Reis Fontes do Departamento de Engenharia Elétrica da UNESP de Bauru, pelas informações técnicas que muito ajudaram a iniciar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças do Departamento de Engenharia Rural da UNESP de Botucatu, pelas valiosas orientações, artigos cedidos e empréstimo do seu notebook e GPS.

Aos Professores Dr. Marcos Roberto Bormio do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP de Bauru e Dr. Kleber Pereira Lanças do Departamento de Engenharia Rural da UNESP de Botucatu por participarem de minha banca de qualificação, oferecendo valiosas observações que visaram o enriquecimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar, do Departamento de Engenharia Rural da UNESP de Botucatu, pela atenção e dedicação ao ensinar e permissão de utilização do equipamento TDR.

A Profa Dra. Maria Helena Moraes, do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da UNESP de Botucatu, pelas análises físicas dos solos avaliados.

A Profa. Dra. Célia Regina Lopes Zimback, do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da UNESP de Botucatu, pelas análises químicas dos solos avaliados.

Ao auxiliar Pedro Alves, pelas valiosas orientações e acompanhamento em campo, que, graças a sua experiência, foram de grande valia na realização deste trabalho.

Ao técnico Maury Torres da Silva por ter cedido espaço no Laboratório de Mecânica dos Solos, o qual não poderia estar em melhores mãos.

Ao técnico Gilberto Winckler por sempre atender as necessidades técnicas e solicitações de equipamentos.

A Mariana Schmidt pelo empréstimo da máquina fotográfica e pela grande amizade iniciada na Pós-Graduação.

As secretárias da seção de pós-graduação Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende Freitas e Jaqueline de Moura Gonçalves pela atenção e paciência.

Ao técnico Wilson Roberto de Jesus pela realização da análise estatística e, mesmo estando em dificuldade, se prontificou a ajudar-me.

A oficial administrativa Rosangela Cristina Morece pelos serviços prestados.

Ao amigo e colega de Pós-Graduação Fred Willians Calonego, pelo companheirismo e amizade verdadeira. Um exemplo de dedicação profissional no campo da Ciência.

Aos funcionários da Biblioteca “Professor Paulo de Carvalho Mattos” pela atenção, precisão e gentileza no atendimento.

A Daniele Aparecida Batista, pelo auxílio na confecção e revisão do summary.

A Mara Cléia Trevisan pelas críticas construtivas e toda participação ao longo deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DA LITRATURA.....	07
4.1 Tipos de medidas.....	07
4.2 Instrumentos e técnicas de obtenção do teor de água no solo.....	08
4.2.1 Método gravimétrico.....	08
4.2.2 Tensiometria.....	09
4.2.3 Blocos Porosos.....	10
4.2.4 Blocos de resistência elétrica.....	11
4.2.5 Sonda de nêutrons (técnica de moderação de nêutrons).....	12
4.2.6 Sensor TDR (técnica da reflectometria por domínio do tempo).....	13
4.2.7 Sensor capacitivo.....	13
4.3 Princípio físico da técnica TDR.....	14
4.3.1 Vantagens e desvantagens da técnica TDR.....	19
4.3.2 Fatores de erro em medidas pela técnica TDR.....	20
4.4 Princípio físico da técnica por moderação de nêutrons.....	21
4.4.1 Vantagens e desvantagens da técnica de moderação de nêutrons.....	23
4.4.2 Fatores de erro em medidas pela técnica de moderação de nêutrons.....	24
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	25

5.1 MATERIAL.....	25
5.1.1 Área Experimental.....	25
5.1.2 Localização.....	25
5.1.3 Propriedades do Solo.....	26
5.1.3.1 Análise Física.....	26
5.1.3.2 Análise Química.....	28
5.1.4 Clima.....	28
5.1.5 Material Utilizado.....	29
5.1.5.1 Para o TDR.	29
5.1.5.2 Para a sonda de nêutrons.....	29
5.1.5.3 Para o laboratório.....	30
5.1.4.4 Para o campo.....	30
5.1.4.5 Para o Escritório.....	30
5.2 MÉTODOS.....	31
5.2.1 Procedimentos de campo.....	31
5.2.1.1 Número de amostragem para cada tipo de solo.....	31
5.2.1.2 Localização dos pontos de amostragem.....	31
5.2.1.3 Instalação da sonda de nêutrons.....	31
5.2.1.4 Levantamento de amostras para análise gravimétrica.....	33
5.2.1.5 Levantamento de amostras para análise com TDR.....	34
5.2.1.6 Levantamento de dados pela sonda de nêutrons.....	35
5.2.1.7 Levantamento de coordenadas geográficas.....	36
5.2.2 Preparação das amostras para análise gravimétrica.....	36

5.2.3	Análise das amostras com TDR.....	36
5.2.4	Obtenção de dados.....	38
5.2.5	Calibração do TDR.....	41
5.2.6	Curvas de calibração para o TDR.....	41
5.2.7	Curvas de Calibração para a sonda de nêutrons.....	41
5.2.8	Análise estatística.....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6.1	Comparação dos métodos para determinação do teor de água no solo.....	43
6.2	Teor de água para tipo de solo, às profundidades de 15 e 30 cm.....	45
6.3	Teor de água para cada tipo de solo e metodologia.....	47
7	CONCLUSÕES.....	51
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
9	APÊNDICE.....	60
9.1	APÊNDICE I – Dados experimentais.....	61
9.2	APÊNDICE II – Curvas de calibração para o TDR.....	86
9.3	APÊNDICE III – Curvas de calibração para a Sonda de Nêutrons.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Material (fluidos e sólidos) e respectivas constantes dielétricas conforme CRC Handbook of Chemistry and Physics (1993), von-Hippel (1955), citados por OR, D. et al. (2003).....	16
2 Seqüência, localização, classificação dos solos segundo EMBRAPA (1999), coordenadas geográficas e elevação.....	26
3 Densidade de partículas, obtida pelo método do Balão Volumétrico.....	27
4 Granulometria e textura dos solos analisados.....	27
5 Análise Química dos solos.....	28
6 Análise estatística das variáveis e suas interações.....	44
7 Análise de Tukey a 5% para Metodologia.....	45
8 Valores do teor de água para solo e profundidade.....	46
9 Valores do teor de água para solo e metodologia.....	47
10 Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Neossolo Flúvico.....	62
11 Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Neossolo Flúvico.....	63
12 Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Neossolo Flúvico.....	64
13 Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Nitossolo Vermelho Distroférrico.....	65
14 Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de	

	Topp e Calibrado para o Solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	66
15	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	67
16	Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Neossolo Quartzarênico.....	68
17	Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Neossolo Quartzarênico.....	69
18	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Neossolo Quartzarênico.....	70
19	Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Latossolo Vermelho Distrófico.....	71
20	Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Latossolo Vermelho Distrófico.....	72
21	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Latossolo Vermelho Distrófico.....	73
22	Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	74
23	Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	76
24	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	78
25	Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Latossolo Vermelho Distroférico.....	80

26	Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Latossolo Vermelho Distroférico.....	81
27	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Latossolo Vermelho Distroférico.....	82
28	Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico para o Solo Latossolo Vermelho Eutrófico.....	83
29	Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado para o Solo Latossolo Vermelho Eutrófico.....	84
30	Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons para o Solo Latossolo Vermelho Eutrófico.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Tensiômetro com manômetro analógico.....	09
2 Modelo de equipamento tipo TDR.....	18
3 Representação das Linhas de Campo referentes a quatro modelos de hastes para TDR.....	19
4 Diagrama de uma sonda de nêutrons.....	23
5 Osciloscópio Tektronix, tipo TDR, modelo 1502 com a interface Tektronix, modelo SP 232.....	29
6 Instalação de um tubo-guia para a sonda de nêutrons.....	32
7 Tubo-guia para sonda de nêutrons instalado.....	32
8 Sonda de nêutrons.....	33
9 Amostragem de solo ao redor do tubo-guia.....	34
10 Tubo em PVC para armazenagem de solo e avaliação pela técnica TDR.....	34
11 Sistema utilizado para a determinação do teor de água no solo, pela técnica TDR..	37
12 Tubo em PVC com amostragem de solo em a haste do TDR instalada.....	37
13 Sonda para o TDR.....	38
14 Janela Principal do software WinTDR 6.0.....	39
15 Software WinTDR 6.0, previamente calibrado com o modelo polinomial cúbico de Topp.....	40
16 Janela de controle de temperatura do software Win TDR 6.0.....	40
17 Teor de água em função das Metodologias empregadas.....	45
18 Teor de Água em função das profundidades e tipos de solo.....	46

19	Teor de água em função de tipos de solos e metodologias.....	48
23	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Neossolo Flúvico....	87
24	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Nitossolo Vermelho Distroférrico.....	88
25	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Neossolo Quartzarênico.....	89
26	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Distrófico.....	90
27	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Nitossolo Vermelho Distroférrico.....	91
28	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Distroférrico.....	92
29	Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico.....	93
30	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Neossolo Flúvico.....	95

31	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	96
32	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Neossolo Quartzarênico....	97
33	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Distrófico.....	98
34	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.....	99
35	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Distroférico.....	100
36	Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico.....	101

1 RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido nas dependências das Fazendas Lageado e Edgárdia, pertencentes à Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP de Botucatu-SP, no município de Pratânia e no distrito de Vitoriana, município de Botucatu-SP, com o objetivo de avaliar 2 técnicas de obtenção do teor de água no solo. A primeira delas é conhecida como moderação de nêutrons, que consiste na emissão de nêutrons rápidos e contagem de nêutrons moderados retornados após colisão, com moléculas de hidrogênio encontradas no solo. A partir da contagem obtida, estabeleceu-se uma correlação entre essa contagem e o teor de água no solo obtido pelo método gravimétrico, tomado como padrão. Outra técnica é a do TDR (*Time Domain Reflectometry*) ou Reflectometria no Domínio de Tempo, onde se determina a constante dielétrica relativa do solo e, por correlação, obtém-se o teor de água correspondente. Esta técnica foi desenvolvida de 2 maneiras: na primeira, manteve-se a calibração geral conhecida como Equação de Topp, que consiste numa Equação polinomial cúbica, obtida de forma empírica. E, na segunda, desenvolveu-se uma calibração específica para cada solo analisado.

Foram avaliados 7 tipos de solos às profundidades de 15 e 30cm respectivamente com 3 variações de textura: arenosa, média e argilosa. Também, determinou-se variáveis físicas, como densidade de partículas e análises químicas, dando ênfase no teor de matéria orgânica.

O trabalho de campo consistiu no levantamento de dados (contagens) com a sonda de nêutrons “*in situ*” e na obtenção de amostras de solo, nas respectivas profundidades, para análise em laboratório pelas técnicas TDR e gravimétrica.

Como referencial ou padrão, utilizou-se o método direto ou gravimétrico para a determinação do teor de água no solo. Esta técnica consiste no sistema de pesagem das amostras de solo, úmidas e secas, antes e após 24 horas em estufa térmica, respectivamente. Entretanto, há o inconveniente da demora para obtenção dos resultados.

As análises estatísticas constituíram na verificação da significância entre as variáveis: solo, profundidade e metodologia; tomando-se como variável dependente o teor de água no solo. Esta verificação foi realizada por meio de uma análise de variância na forma fatorial inteiramente casualizada. Após foi realizado o Teste de Tukey com significância de 5%, permitindo concluir que o método do TDR calibrado separadamente para cada tipo de solo, foi o que ofereceu maior precisão, em seguida o método dos nêutrons moderados e, por último, o método do TDR com a calibração geral de Topp.

Palavras-chave: TDR (Reflectometria por Domínio do Tempo); Moderação de Nêutrons; Teor de Água; Solos; Comparação

AVALIATION OF THE THECNIQUE'S TDR (*Time Domain Reflectometry*) and MODERATION OF NEUTRON IN DETERMINATION OF THE WATER IN DIFFERENT'S CLASSIFICATIONS OF SOIL. Botucatu, 2004, 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: WAGNER ROBERTO BATISTA

Adviser: JOÃO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

2 SUMMARY

This work was developed at Fazenda Lageado and Edgárdia areas, belonging to the Agronomics Science School – UNESP Botucatu-SP, in Pratânia borough and in Vitoriana district, both in the Botucatu borough. The main objective was to study and evaluate two techniques to obtain the water content in the soil.

The first technique evaluated is known as neutron moderation which consists in the emission of fast neutrons and in the counting of moderate neutrons which came back after a collision with hydrogen molecules found in the soil. From the count obtained, it was settled the correlation between the count and the water content value in the soil, obtained through the gravimetric method. Another technique is the TDR (Time Domain Reflectometry). In this, it can be determined the apparent relative constant dielectric in the soil and by the correlation, to reach the correspondent value of water content. This technique was developed in two ways: in the first one, it was kept the general calibration known as Topp's equation which consists in a cubic polynomial equation obtained in an empiric form. The second one, it was developed a specific calibration to each kind of soil analysed. It was evaluated seven kinds of soils to the depths of 15cm and 30cm, respectively. As an initial criterion to the choice of soils, we tried to obtain three texture variations: gritty sandy, mean and muddy. It was also observed the physical variables such as: particles density and chemical analyses, giving a special emphasis on the drift of organic matter.

Basically, the fieldwork consisted in data surveys (count) with the neutron probe “in situ” and in the attainment of soil samples in the respective depths to laboratory analysis through the techniques: TDR and Gravimetric.

As a reference or pattern, we used the direct method or Gravimetric to the determination of water content in the soil. This technique consists of a weight system of the soil samples, moist and dry, before and after 24 hours in the thermal greenhouse, respectively. It is the most precise and the cheapest method, but there is some inconvenient because of the long time to reach the results.

The statistics consisted of a verification of the significance among the variable: soil, depth and methodology, taking as the dependent variable the water content in the soil. This verification was made through an analysis of the variation in the entirely casual factorial form. After Tukey’s analysis with 5% of significance, we can conclude that the TDR method was just the method which offered the right precision. This method was calibrated separately to each kind of soil. It was followed by the moderate neutron method and finally by the TDR method with the general calibration of Topp.

Keywords: TDR (Time Domain Reflectometry); Neutron Moderation; Content of Water; Soil; Comparison.

3 INTRODUÇÃO

A determinação precisa do teor de água no solo é de grande interesse na irrigação, construção, administração de transporte, engenharia agrônômica, monitoramento de produtos químicos, etc. Devido a estes interesses, houve uma evolução no desenvolvimento de tecnologias para determinar esta característica física de forma automatizada.

Segundo Ley (1994), uma irrigação eficiente requer um programa de administração sistemática de água.

Um fator importante para uma boa utilização da água, vem sendo a rotina de monitoramento e medição de água no solo. O teor de água no solo deve estar entre os limites superiores e inferiores de água desejáveis para uma perfeita disponibilidade à planta. Isto requer controles que levam em consideração a evaporação, a irrigação, a drenagem e a chuva. Com isso obtêm-se maior controle no que diz respeito ao desperdício de água e energia.

Atualmente, encontram-se no mercado, vários aparelhos que medem o teor de água existente no solo e uma das técnicas empregadas por estes aparelhos é a da obtenção da constante dielétrica relativa do solo. Eles são capazes de medir o valor da constante dielétrica relativa do solo e conseqüentemente a quantidade de água infiltrada, uma vez que a constante dielétrica é relativamente proporcional à quantidade de água no solo. Tal técnica recebe o nome de TDR (*Time Domain Reflectometry*) ou Reflectometria por Domínio do Tempo.

Outro método utilizado é o da Sonda de Nêutrons, onde o teor de água é diretamente proporcional à quantidade de nêutrons moderados após colisão com

átomos de Hidrogênio existentes no solo. Este método é conhecido como método da moderação de nêutrons.

Este trabalho visou comparar as 2 técnicas de determinação do teor de água no solo, levando em consideração o solo, a profundidade de coleta e a metodologia. Foram empregadas 4 metodologias para determinar o teor de água no solo e conseqüentemente estabelecer qual metodologia se destacou em termos de precisão. As metodologias utilizadas foram: o método gravimétrico, o método dos nêutrons moderados, o método do TDR com calibração universal ou modelo de Topp e o método do TDR com calibração específica para cada tipo de solo analisado. Vale ressaltar que o método gravimétrico foi utilizado como referência ou padrão.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Tipos de Medidas

Segundo Gonçalves Jr. (2001), a medição tem por finalidade o monitoramento, o controle ou mesmo a investigação de um processo ou fenômeno físico. O mesmo autor comenta ainda que em aplicações que envolvem monitoramento, os sistemas de medição apenas indicam para o usuário o valor momentâneo ou acumulado do mensurando. Barômetros, termômetros e higrômetros, quando usados para observar aspectos climáticos, são exemplos clássicos de aplicações que envolvem monitoração; medidores de consumo de energia elétrica ou de volume d'água são outros exemplos. Enfatiza ainda o autor que qualquer sistema de controle envolve um sistema de medida como elemento sensor, compondo um sistema capaz de manter uma grandeza ou processo dentro de certos limites. O valor da grandeza a controlar é medido e comparado com o valor de referência estabelecido e uma ação é tomada pelo controlador visando aproximar a grandeza sob controle deste valor de referência. São inúmeros os exemplos destes sistemas. O sistema de controle da temperatura no interior de um refrigerador é um exemplo: um sensor mede a temperatura no interior do refrigerador e a compara com o valor de referência pré-estabelecido. Se a temperatura estiver acima do valor máximo aceitável, o compressor é ativado até que a temperatura atinja um patamar mínimo, quando é desligado. O isolamento térmico do refrigerador mantém a temperatura baixa por um certo tempo, e o compressor permanece desativado enquanto a temperatura no interior estiver dentro da faixa tolerada. Desta forma o autor finaliza concluindo que os recursos experimentais foram, e ainda são, ferramentas indispensáveis com as quais diversas descobertas científicas tornaram-se

possíveis. Problemas nas fronteiras do conhecimento frequentemente requerem consideráveis estudos experimentais em função de não existir ainda nenhuma teoria adequada. Estudos teóricos e resultados experimentais são complementares e não antagônicos. A análise combinada teoria-experimentação pode levar ao conhecimento de fenômenos com maior profundidade e em menor tempo do que cada uma das frentes em separado. Através da experimentação é possível, por exemplo, testar a validade de teorias e suas simplificações, testar relacionamentos empíricos, determinar propriedades de materiais, componentes, sistemas ou o seu desempenho.

Para Vuolo (1996) e Pimentel-Gomes (2000) uma medição necessita no mínimo de duas notações: o número ou intensidade, que representa a quantidade mensurada e sua respectiva unidade que representa o padrão de medida utilizado. Constataram ainda que as medidas são classificadas em 2 tipos: **Medida direta**: obtida através de uma comparação meramente mecânica. Como exemplo, a medida de um comprimento com uma fita métrica; e **Medida indireta**: obtida a partir do cálculo de outras grandezas de medida direta. Como exemplo, a determinação da massa específica de um sólido ou a temperatura do corpo humano por um termômetro doméstico.

4.2 Instrumentos e técnicas de obtenção do teor de água no solo

4.2.1 Método Gravimétrico

Segundo Cauduro e Dorfman (1986), o método gravimétrico consiste na pesagem de amostras de solo úmido e após a secagem. A diferença entre as duas medidas subentende-se como sendo a massa de água existente na amostra. O processo de secagem dura no mínimo 24 horas. O método gravimétrico é também conhecido como método direto. Para os autores este método é muito preciso, servindo como referência para outros estudos, além de ser simples e barato. Entretanto é demorado (mínimo de 24 horas) e destrutivo, pois necessita da retirada de amostras do solo. Também é trabalhoso, pois requeridas e vindas do campo ao local de análise e, finalmente, não pode ser automatizado, pois não é possível fazer repetições (método destrutivo).

4.2.2 Tensiometria

Kiehl (1979) comentou que a técnica tensiométrica emprega aparelhos denominados tensiômetros que consistem em uma cápsula de cerâmica porosa, cheia de água, que será enterrada no solo e que se encontra ligada por um tubo a um manômetro ou indicador de vácuo, mostrado Figura 1.

Segundo Bruce e Luxmoore (1986), Klute e Dirksen (1986) e Dirksen (1999) o uso da tensiometria é intenso em várias áreas da física do solo e sistemas de irrigação.

Para Gomide (2001) quando introduzido o tensiômetro no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a tensão da água no solo ao seu redor. Qualquer mudança no teor de água no solo e conseqüentemente em seu estado de energia, será transmitido à água no interior da cápsula, sendo indicada rapidamente pelo dispositivo de leitura. A cápsula do tensiômetro funciona como uma membrana semi-permeável, permitindo a livre passagem de água e íons; impedindo a passagem de ar e partículas de solo. Teoricamente o tensiômetro poderia medir tensões de até 101,3 kPa, entretanto na prática só é possível medir até 80 kPa aproximadamente. Acima desta tensão, o ar penetra no instrumento através dos poros da cápsula, a água começa a passar do estado líquido para o estado de vapor, proporcionando perda na precisão.



Figura 1 - Tensiômetro com manômetro analógico.

Para tensiômetro com manômetro digital (tensímetro), o autor comenta que o valor de ψ_m , em kPa, é dado por:

$$\psi_m = L + 0,098 C \quad (1)$$

onde:

ψ_m é o potencial matricial em *bar* ou *Pa*

L é a leitura do manômetro em *cbar* ou *kPa* ;

C é o comprimento do tensiômetro (distância da cápsula ao transdutor de pressão) em *cm*.

Segundo Dirksen (1999), na confecção da curva de retenção obtém-se pares de dados de teor de água e potencial de água, em geral, utilizando-se amostras montadas em laboratório ou coletadas num local representativo do terreno. Estas amostras são submetidas a tensões ou pressões conhecidas e, por meio de pesagem, determina-se o teor de água correspondente. Para potenciais pequenos, a tensão pode ser facilmente aplicada por uma coluna d'água em desnível, utilizando-se placas porosas ou outro material poroso que proporcione bom contato e entre em equilíbrio com a amostra de solo. A areia fina pode ser um bom material para tensões equivalentes até 1,2m.

Para maiores potenciais, são utilizados equipamentos com placas porosas e pressão controlada. Como exemplo, a câmara de Richards, conforme Klute e Dirksen (1986) e Dirksen(1999).

Souza e Reichardt (1996) e Marciano et al. (1998) referem que ao se confeccionar a curva de retenção de um solo, podem ocorrer erros consideráveis se poucas amostras forem utilizadas, ou se elas forem mal coletadas ou mal trabalhadas. A variância das leituras e a variabilidade espacial devem sempre ser preocupação em trabalhos com a curva de retenção conforme Bruce e Luxmoore (1986) e Cassel e Klute (1986). A rotina de laboratório para a determinação dos pontos para compor a curva de retenção também deve ser executada com cuidado. Um mau contato das amostras com as placas porosas e falhas na determinação do volume ou do teor de água correspondente a certo potencial, pode alterar sensivelmente o padrão final da curva obtida ou aumentar a dispersão dos pontos e, conseqüentemente, a variância ou a incerteza da relação.

4.2.3 Blocos porosos

Segundo Gomide (2001), a condutividade elétrica e térmica, bem como a capacitância de materiais porosos, variam com o teor de água no seu meio e podem ser

facilmente medidas com grande precisão. Se existir uma boa correlação destas propriedades com o teor de água no meio poroso, os métodos usados para determinar tais propriedades poderão ser de grande utilidade na determinação do teor de água no solo. Comentou ainda o autor que o sistema de blocos porosos usado na determinação do teor de água no solo é constituído de: a) “Ponte de Wheatstone”, para a medição da resistência elétrica – resistências que podem variar de algumas centenas de ohms a 200 000 ou mais ohms. As pontes em uso são do tipo de corrente alternada, para evitar polarização nos eletrodos inseridos no bloco poroso. A medição da resistência é feita colocando-se os blocos nas profundidades desejadas, deixando as pontas dos fios à superfície do solo. Instrumentos para leitura digital são usados em sistemas de aquisição de dados, e podem ser de grande utilidade na obtenção dos dados, para posterior transferência e determinação dos conteúdos de água no solo a partir de curvas ou equações específicas de calibração; b) “Bloco poroso”: os blocos disponíveis no mercado são feitos de diversos materiais porosos que vão desde o tecido de náilon e fibra-de-vidro, até aos blocos de gesso-resinado, moldados em diferentes formas. Os blocos possuem em seu interior um sistema de eletrodos, que basicamente consistem de 2 fios elétricos finos ligados cada um a uma pequena tela de aço inox. As pequenas telas são mantidas separadas a 1 ou 2cm de distância. Para o autor, a calibração de blocos porosos é necessária e é feita para o solo com peso específico semelhante ao do solo no campo, contido em um recipiente (caixa de tela) que permita perda rápida de água por evaporação sem perda de solo. Usa-se uma pequena caixa de tela, aberta em uma das faces, com dimensões que permitam a colocação de volume de solo suficiente para envolver o bloco poroso com pelo menos 2cm de camada de solo ao redor do bloco. Inicia-se o processo umedecendo o solo a ser utilizado de maneira a facilitar a sua colocação ao redor do bloco no recipiente de calibração com peso específico desejado. A calibração é feita pelo processo de determinação gravimétrica do teor de água no solo.

4.2.4 Blocos de resistência elétrica

Segundo Kiehl (1979) o potencial mátrico do solo pode ser medido por meio de blocos de resistência elétrica, os quais são constituídos de gesso com eletrodos de metal maciço ou de tecido de náilon com eletrodos de tela de fios de aço inoxidável. O bloco de

gesso de secção retangular tem em seu interior duas barras cilíndricas de metal para funcionarem como eletrodos. Comentou o autor que o princípio de determinação do potencial matricial é o seguinte: o bloco de gesso ou náilon, uma vez enterrado entra em equilíbrio com a umidade do solo. A maior ou menor quantidade absorvida pelo náilon ou pelo gesso, oferece menor ou maior resistência à passagem de corrente elétrica entre os eletrodos. Como os blocos apresentam diferentes resistências específicas e pelo fato das leituras variarem com a classe textural do solo, eles necessitam sofrer uma prévia calibração. Com os dados da calibração define-se um gráfico, podendo-se então de acordo com cada leitura em ohms de cada bloco enterrado no solo, conhecer-se o potencial matricial.

4.2.5 Sonda de Nêutrons (técnica de moderação de nêutrons)

Para Gomide (2001), a sonda de nêutrons como instrumento de determinação do teor de água no solo, tem sido utilizada quando a profundidade de interesse é superior a 15cm, com algumas restrições. O instrumento consiste de uma sonda com fonte de nêutrons rápidos, usualmente Amerídio 241/Berílio, um detector Hélio-3 para os nêutrons termalizados ou moderados, que desce por um tubo de alumínio, ferro ou PVC, de parede fina, cravado no solo e um registrador eletrônico. O autor comentou que ao ser acionada, a fonte libera nêutrons que se espalham colidindo com os diferentes corpos no solo que provocam redução de sua energia cinética. A redução de energia é máxima quando os nêutrons encontram núcleos de Hidrogênio presentes no solo, que reduzem a sua energia inicial a valores característicos dos núcleos de H. Embora o Hidrogênio seja um componente da matéria orgânica, a maior parte deste elemento no solo ocorre como componente da água. Portanto, a contagem dos nêutrons termalizados ou moderados ao redor da fonte de nêutrons rápidos, indica de forma razoável, o teor de água no solo. A quantidade destes nêutrons pode ser calibrada com a umidade volumétrica do solo com resolução na faixa de $0,01\text{cm}^3\text{ cm}^{-3}$ a $0,05\text{cm}^3\text{ cm}^{-3}$. A presença de uma nuvem de nêutrons ao redor de uma fonte, impossibilita a utilização desta técnica em laboratórios. O raio da nuvem esférica de nêutrons varia de acordo com a umidade do solo: de 0,15m para solo saturado a 0,60m para solo seco. Enfatiza o autor que a Equação interna de calibração do

aparelho, fornecida pelo fabricante, pode ser considerada adequada em muitos casos. Entretanto é recomendado efetuar uma própria calibração com auxílio do método gravimétrico e o peso específico do solo a ser manejado. Verifica-se que o teor de água no solo é diretamente proporcional à contagem relativa de nêutrons moderados. O autor finaliza, comentando que os modelos recentes dispõem de microprocessador integrado, com pelo menos 13K de memória de registro, além de equações de calibração para diferentes tipos de solo; bateria recarregável; transferidor de dados para PC ou impressora através de cabo padrão RS232C. A transferência de dados da sonda para uma impressora ou computador pessoal, acontece de forma geral por meio de arquivo no formato padrão ASCII.

Por se tratar de uma metodologia que trabalha com radiação ionizante altamente penetrante, o operador deve manter a maior atenção possível no manuseio deste equipamento, permanecendo a uma distância mínima de 3 metros durante o procedimento de contagem do instrumento e em caso de transporte, utilizar sua própria caixa.

4.2.6 Sensor TDR (técnica da reflectometria por domínio do tempo)

Segundo Gomide (2001), o sensor de reflectometria no domínio do tempo, mais conhecido por TDR (Time Domain Reflectometry), emite um pulso numa frequência de microondas. Para Crestana et al. (1996), o tempo de retorno do pulso é muito pequeno (da ordem de nanosegundos), inviabilizando uma leitura manual, pois a mesma, deveria ser aproximadamente realizada, a cada milésimo de segundo. Desta forma, há a necessidade da utilização de um circuito elétrico apropriado para fornecer os dados já convertidos em teor de água no solo. Esta conversão ocorre por meio de mecanismos correlacionais.

4.2.7 Sensor Capacitivo

Segundo Gomide (2001), a relação entre o teor de água no solo e a constante dielétrica, podem ser medidos através da capacitância entre 2 eletrodos introduzidos no solo. Para solos arenosos, onde a água livre é predominante, a constante dielétrica é diretamente proporcional ao teor de água. Os eletrodos ficam sujeitos a um sinal de

excitação de frequência conhecida e mede-se a impedância do circuito por ela formado. O sinal obtido não é linear com o teor de água e é influenciado tanto pelo tipo de solo como por sua temperatura. É um método que requer uma calibração minuciosa. Para o autor, o método capacitivo apresenta como desvantagens: pouca estabilidade à longo prazo e custo relativamente alto do circuito de compensação requerido. Como vantagens: a técnica pode fornecer o conteúdo absoluto de água, podendo ser usada em qualquer profundidade. O autor comentou que quanto aos modelos das sondas, diversas geometrias são válidas, permitindo a abrangência de diversos volumes. Apresenta uma precisão relativamente boa quando não ocorrem mudanças na concentração iônica do solo e é facilmente acoplada a sistemas de medição remota como, por exemplo, sistemas de telemetria.

4.3 Princípio físico de técnica TDR

Segundo Herrmann Jr. (2001), uma das mais importantes técnicas que vêm 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 4 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. As funções dielétricas na forma complexa de água livre e ligada, são funções da frequência eletromagnética f , da temperatura física T e da salinidade S . Para Hallikainen et al. (1985) a constante dielétrica do solo misturado fica, em geral, em função das f , T , S , do teor de água volumétrico total θ_v , da fração relativa de água livre e água ligada, a qual está relacionada à área de superfície do solo por unidade de volume, da densidade volumétrica do solo ρ_b , do formato das partículas do solo e da forma da absorção da água pelo solo. Segundo o autor, um solo úmido deve ser caracterizado pela dependência da frequência como função de resposta da constante dielétrica complexa, conforme Equação 2.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_r(\omega) - j \varepsilon_i(\omega) \quad (2)$$

onde:

$\varepsilon_r(\omega)$ é a parte real de ε ;

$\varepsilon_i(\omega)$ é a parte imaginária de ε ;

$j = \sqrt{-1}$;

ω é a frequência angular.

Comentou o autor que a função $\varepsilon_r(\omega)$ é aproximadamente constante para $\omega=0$, fora, portanto da vizinhança da frequência de relaxação ω_R dos dipolos no meio. O tempo associado a ω_R é a constante de tempo para o decaimento da polarização, quando o campo elétrico está ausente. Ao redor de ω_R , a função ε_r decai ainda na região do espectro visível e é igual ao índice de refração ao quadrado. A parte função-resposta dielétrica é uma medida da energia armazenada pelos dipolos alinhados por um campo eletromagnético aplicado. Quando a frequência é maior que ω_R , os dipolos podem não acompanhar o campo e a capacidade do meio para armazenar energia do campo elétrico decai.

Herrmann Jr. (2001) ainda salienta que a função $\varepsilon_i(\omega)$ é uma medida da taxa de energia dissipada no meio. Visualizando como uma função da frequência, e iniciando para um baixo ω , este irá aumentar até um pico de ω_R e depois disso decairá. Tal comportamento é devido aos dipolos permanentes no solo. Entretanto em frequências abaixo de ω_R , o meio pode mostrar dispersão característica e regiões de absorção, devido a excitação molecular direta. A frequência ω_R , irá, geralmente, se encontrar na faixa de microondas, 18GHz na água.

Para Schumugge e Jackson (1980), em um solo, os valores de ε_r são tipicamente entre 3 e 5. Na água, os valores de ε_r estão em torno de 80, conforme Quadro 1. Dessa forma, pequenas quantidades de água livre no solo irão afetar consideravelmente suas propriedades eletromagnéticas.

Quadro 1 – Material (fluidos e sólidos) e respectivas constantes dielétricas.

Material (Fluidos)	Constante Dielétrica (20-25 °C)	Material (Sólidos)	Constante Dielétrica (ϵ_b) (20-25 °C)
Água	80,4 – 78,5	Gelo (-12°C)	4,1 – 3,7
Etanol	24,3	Quartzo Fundido (SiO ₂)	3,78
Amônia	16,9	Solo Arenoso (seco)	2,55
Benzeno	2,29	Solo Argiloso (seco)	2,51
Acetona	20,7	PVC	2,89
Ar	1,0	Polietileno	2,25
CO ₂ (líquido)	1,6	Teflon	2,1
CO ₂ (gás)	1,001	Madeira (Douglas Fir)	1,90 – 1,95

Fonte: CRC Handbook of Chemistry and Physics (1993), von-Hippel (1955), citados por OR, D. et al. (2003).

Segundo os autores, em baixos níveis de umidade existe um pequeno aumento de ϵ com o teor de água no solo, mas acima de um certo ponto, a declividade da curva incrementa acentuadamente. Tal comportamento é devido à água no solo. Quando a água é adicionada ao solo, torna-se fortemente ligada as partículas do solo. Nesse estado, as moléculas de água não são livres para se tornarem alinhadas, e as propriedades dielétricas se parecem com as propriedades dielétricas do gelo, para o qual, $\epsilon = 3,5$. Como a camada de água ao redor das partículas do solo, se tornam maiores, as ligações das partículas decaem devido à ausência de contato de superfície; e as moléculas de água se comportam como se estivessem no estado líquido. Portanto, ocorre uma maior declividade na curva que relaciona constante dielétrica com teor de água para maiores valores do teor de água no solo. O conteúdo de umidade do solo θ_v nesta transição depende da textura do solo, isto é, da distribuição do tamanho de partículas.

Desta forma, os autores comentaram que estudos relacionando a variação da frequência à umidade volumétrica, mostram que a sensibilidade da medida aumenta com o aumento da frequência, de 1,4 GHz a 18GHz.

Para Herrmann et al. (1986) um dos aspectos interessantes na utilização de ondas eletromagnéticas, na faixa de microondas, 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 microondas para estudo da constante dielétrica de um meio poroso.

Fellner-Feldegg (1969), introduziu a reflectometria no domínio do tempo (TDR) como sendo um método para medir a permissividade dielétrica de líquidos. Desde então, a técnica TDR tem sido aplicada a medidas de propriedades dielétricas de muitos outros materiais, conforme Cassel et al. (1994) e Noborio (2001). Na década de 80, Topp et al. (1980) e Topp e Davis (1985) obtiveram resultados da aplicação de TDR para a medida de constante dielétrica do solo ou do teor de água no solo.

Para Bicegli et al. (1996) a constante dielétrica é calculada a partir da medida do tempo que um pulso eletromagnético leva para transitar entre duas hastes metálicas que operam como guias de onda e que são introduzidas no solo. Esse método de medida estabelece que é preciso considerar que o pulso emitido caminha de uma haste metálica para outra e retorna à posição de partida. Considerando L o comprimento da sonda (m), t o tempo de trânsito (s) e V_p a velocidade de propagação (m/s) do pulso para um meio não dispersivo, obtém-se a Equação 3.

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Onde:

c é a velocidade da luz ($c=3.10^8$ m/s).

Reorganizando a Equação 3, segundo os autores, pode-se definir a constante dielétrica conforme a Equação 4.

$$\epsilon_b = \left(\frac{c.t}{2L} \right)^2 \quad (4)$$

Topp et al. (1980) mostram que a constante dielétrica se relaciona com o teor de água (θ_v) no solo da seguinte forma:

$$\theta_v = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,92 \cdot 10^{-2} \varepsilon_b - 5,5 \cdot 10^{-4} \varepsilon_b^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \varepsilon_b^3 \quad (5)$$

onde:

θ_v é o teor de água no solo (%);

ε_b é a constante dielétrica do solo.

Na Figura 2, observa-se: 1) Testador de cabos tipo TDR, marca Tektronix, modelo 1502B. 2) Forma gráfica da onda representada no TDR. 3) Modelo de sonda com 3 hastes metálicas. (Jones et al., 2002).

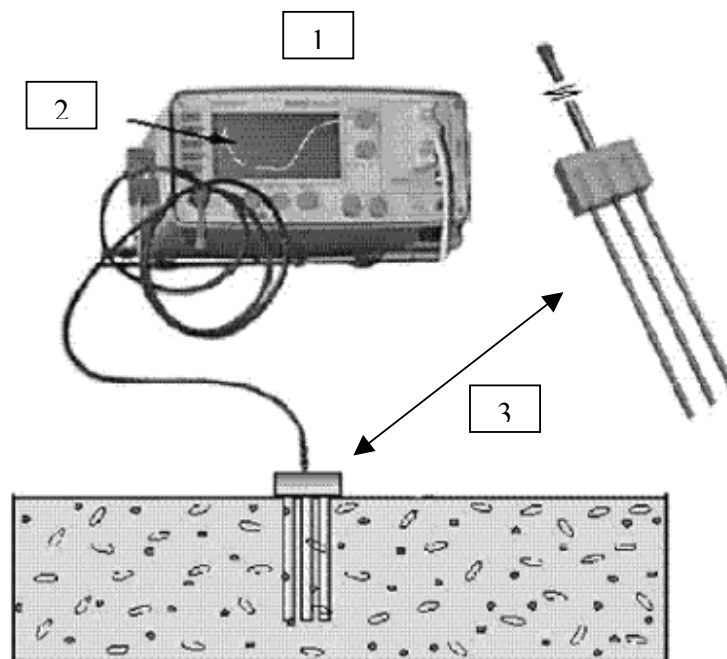


Figura 2 - Modelo de equipamento tipo TDR para determinação do teor de água no solo.

Embora a sonda utilizada neste trabalho tenha sido uma de hastes paralelas, segundo Vaz (2001) e Vaz e Hopmans (2001), existem outras geometrias possíveis como por exemplo, o modelo serpentina, onde fios são enrolados numa placa de acrílico.

A Figura 3, mostra, segundo Jones et al. (2002), alguns modelos de hastes para a determinação do teor de água no solo: 1) Haste com duas lâminas retangulares. 2) Haste com duas barras cilíndricas. 3) Haste com três barras cilíndricas. 4) Haste com 7 barras cilíndricas.

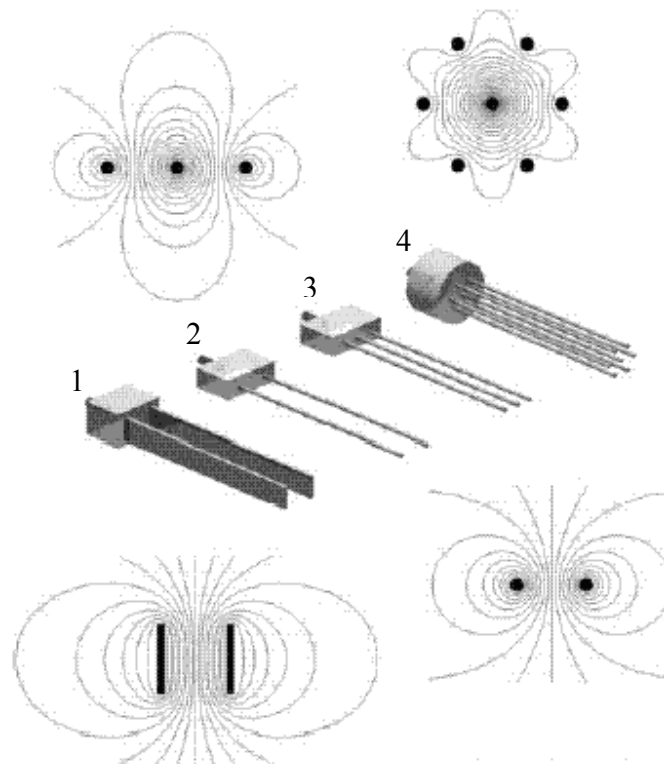


Figura 3 – Representação das Linhas de Campo referentes a 4 modelos de hastes para TDR. (Jones et al. 2002).

4.3.1 Vantagens e desvantagens da técnica TDR

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.

4.3.2 Fatores de erro em medidas pela técnica TDR

Topp et al. (1980) mostraram que a constante dielétrica do meio em estudo é sensível a temperatura (283K – 309K), textura do solo (arenoso ou argiloso), densidade do solo (1140 a 1440 kg.m⁻³) e teor de sais solúveis (0,01 N Ca SO₄ ou 2000ppm de solução de NaCl).

Davis e Chudobiak (1975) encontraram um aumento de 10% na constante dielétrica para um incremento de 39K para a temperatura de solos arenosos e argilosos.

Para Look e Reeves (1982), as temperaturas entre 273 a 298K têm efeito mínimo sobre a constante dielétrica do solo, em confronto com Selig e Mansukhani (1975) e Rada et al. (1994), que encontraram efeito significativo para essa mesma faixa de temperatura. Segundo Zegelin et al. (1989), em situações onde podem ocorrer grandes flutuações de temperatura, a influência desta na constante dielétrica da água livre deve ser considerada. Em superfícies do solo onde a temperatura pode chegar a 323K, a correção da constante dielétrica da água é de quase 11%.

Segundo Dobson et al. (1985), Roth et al. (1990) e Dasberg e Hopmans (1992), este efeito não deve ser desprezado como colocado por Topp et al. (1980), principalmente em solos argilosos. Para Klemunes Jr. (1998), solos arenosos e argilosos têm composições minerais diferentes. Nos argilosos há a predominância de magnésio e cálcio, enquanto que nos arenosos, sílica e quartzo. Esta diferença, pode produzir uma variação considerável da constante dielétrica relativa do solo: 4,0 para solos argilosos e 8,0 para solos arenosos.

Para Hallikainen et al. (1985), a constante dielétrica do solo é função da sua densidade volumétrica. Já Tommaselli (1997), diz que para solos com textura fina, a densidade é uma variável importante na determinação da constante dielétrica do solo.

Segundo Herkelrath et al. (1991), a constante dielétrica do solo, está relacionada com o conteúdo de matéria orgânica.

Segundo Scott et al. (1983), em condições com alto índice de sal, pode ocorrer um “curto-circuito” na sonda, tornando difícil a identificação do ponto de inflexão final.

Roth et al. (1992) observaram variações na curva de calibração em solos com alto teor de óxido de ferro. Já Tommaselli (1997) não considera este fato uma variável significativa.

Dirksen e Dasberg (1993), Or e Wraith (2000) e Robinson et al. (2002) pesquisaram a influência da água fortemente retida no solo, no valor da constante dielétrica relativa. Para os autores existe a necessidade de adicionar o efeito dessa água, pois em solos onde ele ocorre, pode-se subestimar o valor do teor de água no solo em até 10%.

Klemunes Jr. (1998) acrescenta que se não fosse o bastante a interferência das propriedades do solo sobre a constante dielétrica, há também fatores a serem considerados de ordem técnica, como: ruídos eletromagnéticos, comprimento e especificação do cabo coaxial, embora Herkelrath et al. (1991) afirmarem que para cabos com comprimentos de até 27m, não houveram problemas na reflexão do sinal.

Hook e Livingston (1996), verificaram que cabos coaxiais de 75 Ω apresentam menor tempo de resposta, menor diâmetro e mais baixo custo quando comparados aos cabos RG58 de 50Ω.

Zegelin et al. (1989) chegaram a conclusão de que sondas de 3 ou 4 hastes são muito similares na determinação da constante dielétrica. Entretanto a sonda de 4 hastes é menos atrativa, pois há uma maior exigência mecânica para a introdução da mesma no solo.

4.4 Princípio físico da técnica de moderação de nêutrons

Segundo Alonso e Finn (1999) em 1930 Walther Bothe (1881-1957) e seu aluno Herbert Becker, observaram que quando o boro e o berílio foram bombardeados com partículas α , produzia-se uma radiação altamente penetrante. Esta radiação não era composta por partículas carregadas porque não era afetada por campos elétricos ou magnéticos. Por isto, eles pensaram que a radiação consistia em raios γ de alta energia e escreveram a reação conforme a Equação 6.



Para os autores, esta reação libera uma energia de 10,4 MeV. Como a energia cinética das partículas α era de 5 MeV aproximadamente, a energia total disponível era cerca de 15 MeV. Esta energia deve ser partilhada pelo átomo de $^{13}_6\text{C}$ e o fóton γ . Assim, os raios γ terão uma energia inferior a 15 MeV. Dois anos mais tarde (1932), os Joliot-Curie observaram que, quando a radiação da reação anterior passava através de um material com hidrogênio, produziam-se prótons altamente energéticos com uma energia máxima de 7,5 MeV. A interpretação natural, foi admitir que os prótons tinham sido expulsos pela colisão com os fótons γ produzidos na reação anterior. Os prótons com maior energia resultariam de colisões frontais em que os fótons retrocedem e são defletidos 180° . Partindo do pressuposto da conservação da energia e da quantidade de movimento (momento linear), obteve-se a Equação 7.

$$E_\gamma = \frac{1}{2} \left\{ E_c + [2(m_p c^2) E_c]^{1/2} \right\} \quad (7)$$

Ainda comentam os autores que em 1932, James Chadwick (1891 – 1974) mostrou que todas estas dificuldades desapareciam e se restabeleciam as leis de conservação se, em vez de raios γ , fossem emitidas partículas neutras de massa próxima a dos prótons. Estas partículas neutras designaram-se nêutrons, denotados por 1_0n , ficando o processo conforme a Equação 8.



Finalizam os autores comentando que Chadwick fez medições rigorosas da energia cinética dos prótons e dos átomos de hidrogênio, expulsos quando os nêutrons passavam através de substâncias que continham hidrogênio e nitrogênio, respectivamente.

Segundo Guerra (2000), os nêutrons rápidos, provenientes de uma fonte radioativa específica para fins de determinação de água em solos, colidem com vários núcleos atômicos perdendo energia. Para Andrade (2001) esta perda de energia é máxima quando um nêutron colide com uma partícula de massa parecida a sua. Com isso, pode-se estabelecer uma relação empírica em que o número de nêutrons moderados (termalizados) é

proporcional ao número de hidrogênio existente no solo. Assim, os nêutrons chocam-se com os núcleos de hidrogênio da água, perdendo sua máxima energia e formando uma nuvem de nêutrons moderados, a qual é detectada por uma fonte que geralmente é constituída de BF_3 – Trifluoreto de Boro. Um nêutron moderado encontra $^{10}_5B$ e é absorvido emitindo uma partícula de He , gerando um pulso elétrico. Este pulso é associado à contagem por um registrador eletrônico. Conforme a Figura 4, observa-se o diagrama de uma sonda de nêutrons. Como a emissão de nêutrons cobre uma região esférica, vale ressaltar a importância de se manter distância durante a emissão e contagem do aparelho, reservando a integridade física do operador.

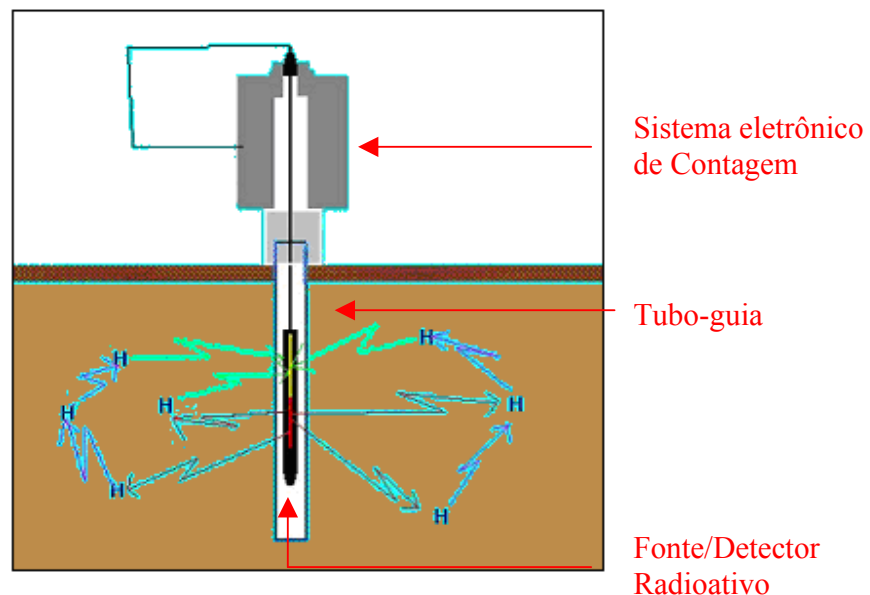


Figura 4 – Diagrama de uma sonda de nêutrons.

4.4.1 Vantagens e desvantagens da técnica de moderação de nêutrons

Para Hermann Jr. (1993) as sondas de nêutrons apresentam as seguintes vantagens em relação à outros métodos: o conteúdo médio de água no solo pode ser determinado em diferentes profundidades; permite o uso de interface, possibilitando uma automação na armazenagem de dados; fácil monitoramento da variação do teor de água no

solo; as leituras são diretamente relacionadas com o teor de água no solo; possibilidade de repetição de medidas no mesmo local.

Contudo, segundo o autor, a técnica também apresenta as seguintes desvantagens: Posicionamento incorreto da sonda no tubo de acesso pode ser fonte de erros na medida do teor de água no solo; utilização de material radioativo altamente penetrante inspirando cuidados do operador; não possibilita medidas precisas na superfície.

Para Turatti et al. (1990) apesar da sonda de nêutrons ser utilizada a mais de 30 anos na determinação do teor de água no solo, ainda não foi possível estabelecer critérios adequados para sua calibração, uma vez que a emissão de nêutrons abrange um volume esférico, tendo, portanto, um fator de erro.

4.4.2 Fatores de erro em medidas pela técnica de moderação de nêutrons

Segundo Turatti et al. (1990) a técnica de moderação de nêutrons necessita de maiores estudos, pois há mais de 3 décadas esta técnica vem sendo desenvolvida e ainda existem discussões quanto a melhor forma de calibração do equipamento. Finalizaram os autores comentando que um dos fatores observados é que a região abrangida pelos nêutrons é esférica, provocando uma variabilidade espacial na determinação do teor de água definido para uma certa profundidade.

Para Andrade et al. (2001) o tempo de contagem na sonda de nêutrons, teve grande influência na magnitude dos nêutrons moderados (leituras).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

5.1.1 Área Experimental

Foram analisados 7 tipos de solos onde 5 deles são pertencentes ao próprio campus da UNESP – Fazendas Experimentais do Lageado e Edgárdia; um em Vitoriana, distrito de Botucatu-SP, nas proximidades do rio Capivara, e o outro no município de Pratânia-SP.

5.1.2 Localização

A localização dos campos experimentais, bem como suas coordenadas geográficas e respectivas elevações estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Seqüência, localização, classificação dos solos segundo EMBRAPA (1999), coordenadas geográficas e elevação.

Seqüência/Localização	Solo	Latitude(S)	Longitude(W)	Elevação
1 - Unesp Várzea	<i>Neossolo Flúvico</i>	22° 51' 22,4"	48° 25' 46,3"	749m
2 – Pratânia	<i>Nitossolo Vermelho Distroférrico</i>	22° 48' 26,7"	48° 37' 05,0"	717m
3 – Vitoriana - Capivara	<i>Neossolo Quartzarênico</i>	22° 45' 21,2"	48° 21' 48,4"	473m
4 - Unesp Patrulha	<i>Latossolo Vermelho Distrofíco</i>	22° 51' 21,4"	48° 26' 08,7"	825m
5 - Unesp Horticultura	<i>Nitossolo Vermelho Distroférrico</i>	22° 50' 27,3"	48° 25' 58,8"	776m
6 – Fazenda –Edgárdia	<i>Latossolo Vermelho Distroférrico</i>	22° 50' 14,8"	48° 25' 20,7"	784m
7 – Unesp Eng. Rural	<i>Latossolo Vermelho Eutrófico</i>	22° 51' 21,7"	48° 25' 22,1"	792m

5.1.3 Propriedades do Solo

5.1.3.1 Análise Física

As análises físicas foram realizadas no Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo – Campus de Botucatu, no laboratório de Física de Solo.

Foram realizadas 14 análises físicas em 7 tipos de solos à 2 profundidades (15 e 30cm). Conforme Quadros 3 e 4, as análises consistiram em determinar a granulometria e a densidade de partículas.

Quadro 3 – Densidade de partículas, obtida pelo método do Balão Volumétrico.

Solo	Profundidade	Amostra	Dens. De Partículas (g.cm ⁻³)
1	15	1	2,70
1	30	2	2,70
2	15	3	3,01
2	30	4	3,03
3	15	5	2,50
3	30	6	2,60
4	15	7	2,63
4	30	8	2,67
5	15	9	2,84
5	30	10	2,86
6	15	11	2,86
6	30	12	2,82
7	15	13	2,74
7	30	14	2,72

Fonte: Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo – Campus de Botucatu, segundo EMBRAPA (1997)

Quadro 4 - Granulometria e textura dos solos analisados.

Solo	Profundidade (cm)	Amostras	Areia	Areia	Areia	Argila	Silte	Textura do Solo
			Grossa	Fina	Total			
					g/kg			
1	15	1	234	570	804	112	84	Arenosa
1	30	2	128	630	758	156	86	Média
2	15	3	67	182	249	490	261	Argilosa
2	30	4	57	195	252	477	271	Argilosa
3	15	5	499	407	905	64	31	Arenosa
3	30	6	743	210	953	45	2	Arenosa
4	15	7	200	457	657	282	61	Média
4	30	8	218	407	624	297	79	Média
5	15	9	86	333	419	453	128	Argilosa
5	30	10	105	278	383	489	128	Argilosa
6	15	11	136	334	470	415	115	Argilosa
6	30	12	85	311	396	488	116	Argilosa
7	15	13	213	449	662	270	68	Média
7	30	14	461	378	838	130	32	Arenosa

Fonte: Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo – Campus de Botucatu, segundo EMBRAPA (1997).

5.1.3.2 Análise química das amostras

As análises foram realizadas no Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo – Campus de Botucatu, no laboratório de Química do Solo, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Análise Química dos solos

Solo	Prof. cm	Amostras	PH	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
			CaCl ₂	----- mmol _c /dm ³ -----								
1	15	1	5,0	6	8	19	0,7	9	4	15	34	43
1	30	2	4,7	5	3	24	0,1	8	4	12	36	34
2	15	3	5,5	16	1	28	0,5	30	11	41	69	60
2	30	4	5,2	17	2	31	0,9	31	11	43	74	58
3	15	5	4,6	2	3	16	0,6	7	5	13	30	45
3	30	6	4,4	4	0	18	0,4	4	3	7	25	28
4	15	7	4,2	16	0	64	0,3	4	2	6	71	9
4	30	8	4,2	14	0	61	0,1	3	2	5	66	8
5	15	9	4,5	17	14	50	2,3	14	8	25	74	33
5	30	10	4,3	16	6	55	1,5	10	5	17	72	23
6	15	11	4,8	15	22	45	0,7	23	18	41	86	48
6	30	12	4,2	13	0	72	0,2	8	6	15	86	17
7	15	13	4,0	12	2	61	0,7	3	2	6	67	9
7	30	14	5,5	15	5	18	1,2	50	22	73	91	80

Fonte: Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo – Campus de Botucatu, segundo Raiji et al. (2001).

5.1.4 Clima

O clima de toda a região onde foram realizados os ensaios é classificado como temperado quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, segundo a classificação de W. Köppen (CUNHA et al., 1999).

5.1.5. Material Utilizado

Para obtenção dos resultados utilizou-se os seguintes equipamentos e material:

5.1.5.1. Para o TDR

A Figura 5 ilustra o osciloscópio marca Tektronix, tipo TDR, modelo 1502B. Também foi utilizada uma interface serial padrão RS232, marca Tektronix, modelo SP 232, uma sonda com 3 hastes, um micro computador tipo PC, padrão IBM, software Win TDR versão 6.0 (Soil Analysis Software).



Figura 5 – Osciloscópio Tektronix, tipo TDR, modelo 1502B com a interface Tektronix, modelo SP 232 sonda com 3 hastes e computador.

5.1.5.2. Para a sonda de nêutrons

Foi utilizada uma sonda CPN modelo 503 DR Hidroprobe (50 mCi Am-241/Be), trado para perfurar o local de amostragem, tubos de alumínio com

800mm de comprimento e 48mm de diâmetro interno e 50mm de diâmetro externo – cedidos para a presente pesquisa pelo Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

5.1.5.3 Para o laboratório

Toda análise laboratorial foi realizada no laboratório de mecânica dos solos do departamento de Engenharia Rural – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Unesp Botucatu-SP. Neste laboratório, foi utilizado: Um microcomputador tipo PC padrão IBM, uma balança digital, termômetro de mercúrio para aferição da temperatura da amostra, termômetro digital tipo termopar também para aferição da temperatura da amostra, bandejas para acomodação das amostras, estufa para secagem das amostras e vidraria.

5.1.5.4 Para o campo

Foram utilizados enxada, enxadão, cavadeira, trado, trena, prancheta, bloco de notas, termômetro, cronômetro, caixa de isopor, sacos plásticos, fita adesiva, instrumento GPS e-Map, latas de alumínio para acomodação das amostras de solo para análise gravimétrica.

5.1.5.5 Para o Escritório

No escritório foram realizadas diversas tarefas como tabulações dos dados com o auxílio da planilha de dados Microsoft Excel versão 2000 PROFESSIONAL; curvas de regressão para calibração do TDR e da sonda de nêutrons, que foram obtidas com o auxílio do software Microcal Origin 6.0 e análise estatística dos dados, que foi realizada com o software SAS 6.0.

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Procedimento de campo

5.2.1.1 Número de amostragem para cada tipo de solo

Para cada solo avaliado foram selecionados 10 pontos para amostragens e análise pela sonda de nêutrons. Logo, considerou-se que para cada solo estudado foram feitas 10 replicações.

5.2.1.2 Localização dos pontos de amostragem

Os 10 pontos foram distribuídos ao acaso de forma a cobrir um raio de aproximadamente 40m.

5.2.1.3 Instalação da sonda de nêutrons

Para instalação da sonda de nêutrons em campo, o trabalho inicial consistiu na introdução no solo do tubo-guia de alumínio, com 1,20m de comprimento e 60mm de diâmetro, conforme Figuras 6 e 7, que tem como função servir de guia para o deslocamento do material radioativo até a profundidade requerida.

Com a sonda de nêutrons fixada no local e profundidade requeridos, foram realizadas as medidas com 5 replicações para cada ponto avaliado do solo. Para cada solo, existiram 10 pontos de análise (replicações).



Figura 6 – Instalação de tubo-guia para utilização da sonda de nêutrons.

Na Figura 7, observa-se o tubo-guia instalado. A tampa em PVC tem por finalidade o impedimento da entrada de água e conseqüentemente inundação do local.



Figura 7 – Tubo-guia para sonda de nêutrons instalado.

Na Figura 8, nota-se uma sonda de nêutrons marca CPN, modelo 503 D.R. Hidroprobe (50 mCi Am 241/Be), idêntica a utilizada na pesquisa.



Figura 8 – Sonda de Nêutrons marca CPN, modelo 503 DR Hidroprobe (50 mCi Am-241/Be).(FERREIRA 2003).

5.2.1.4 Levantamento de amostras para análise gravimétrica

Após realizadas as medidas com a sonda de nêutrons, foram retiradas 5 amostras de solo em torno de cada tubo-guia conforme mostra a Figura 9. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio que têm por finalidade, o armazenamento de solo para avaliação do teor de água pelo método gravimétrico. Em seguida, foram levadas dentro de uma caixa de isopor até o laboratório de Mecânica de Solos.



Figura 9 – Amostragem de solo ao redor do tubo-guia da sonda de nêutrons.

5.2.1.5 Levantamento de amostras para análise com TDR

Após realizadas as leituras com a sonda de nêutrons e retiradas as amostras para análise gravimétrica, o passo seguinte foi preencher os tubos, iguais ao da Figura 10, correspondentes aos 10 pontos analisados em cada solo. Para isto foi retirado solo com ajuda de uma cavadeira, nas profundidades de 15cm e 30cm.



Figura 10 – Tubo em PVC com 70mm de diâmetro e 200mm de altura, utilizado para armazenagem de solo e avaliação do teor de água deste solo pela técnica TDR.

5.2.1.6 Levantamento de dados pela sonda de nêutrons

Inicialmente efetuava-se uma bateria de 5 leituras com duração de 30 segundos, com o material radioativo ainda fixo no compartimento. Feito isso, o material era conduzido pelo tubo-guia de alumínio até a profundidade desejada e novamente realizava-se mais 5 leituras com duração de 30 segundos. As profundidades avaliadas foram a 15 e 30cm. A leitura inicial tem por finalidade fornecer uma medida sem a influência da temperatura e também fornecer uma leitura em relação ao ar como meio.

De posse das leituras, determinou-se a contagem relativa (CR), conforme Equação 9:

$$CR = \frac{CA}{CS} \quad (9)$$

Onde:

CA: é a contagem feita pela sonda com o material radioativo dentro do compartimento do próprio equipamento, sem contato com o solo.

CS: é a contagem feita pela sonda com o material radioativo dentro do tubo-guia no solo.

Como a relação entre o teor de água no solo e CR é linear, pode-se estabelecer a Equação 10.

$$\theta = A + B * CR \quad (10)$$

Onde:

θ é o teor de água no solo;

A e B são coeficientes de regressão linear;

CR é a contagem relativa.

5.2.1.7 Levantamento de coordenadas geográficas

As coordenadas geográficas e suas respectivas elevações estão contidas no Quadro 2. O levantamento dos respectivos dados foi feito por meio de um aparelho tipo GPS marca Garmin modelo GPS e-Map DELUXE, com precisão de 15 metros.

5.2.2 Preparação das amostras para análise gravimétrica

Uma vez no Laboratório de Mecânica dos Solos, as amostras foram pesadas em suas respectivas latas e depois colocadas no interior de uma estufa com temperatura constante de 110 °C, por no mínimo, 24 horas.

Após o prazo de secagem (24 horas), as amostras foram pesadas novamente e, por último, foram pesadas somente as latas de alumínio.

De posse desses dados, foram efetuados os cálculos utilizando a Equação 11, para determinar o teor de água na amostra.

$$\theta = \frac{(MU + ML) - (MS + ML)}{(MS + ML) - ML} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

θ é o teor de água no solo (%)

MU é a massa em gramas da amostra úmida

MS é a massa em gramas da amostra seca

ML é a massa da lata de alumínio

5.2.3 Análise das amostras com TDR

As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos. Conforme mostra a Figura 11, pode-se verificar que a técnica TDR empregada consiste em: (1) Tubo em PVC para armazenamento de amostras de solo; (2) Sonda com 3 hastes metálicas; (3)

Osciloscópio, tipo TDR, marca Tektronix, modelo 1502B utilizando uma interface serial padrão RS232, marca Tektronix, modelo SP232; (4) Computador PC, padrão IBM.

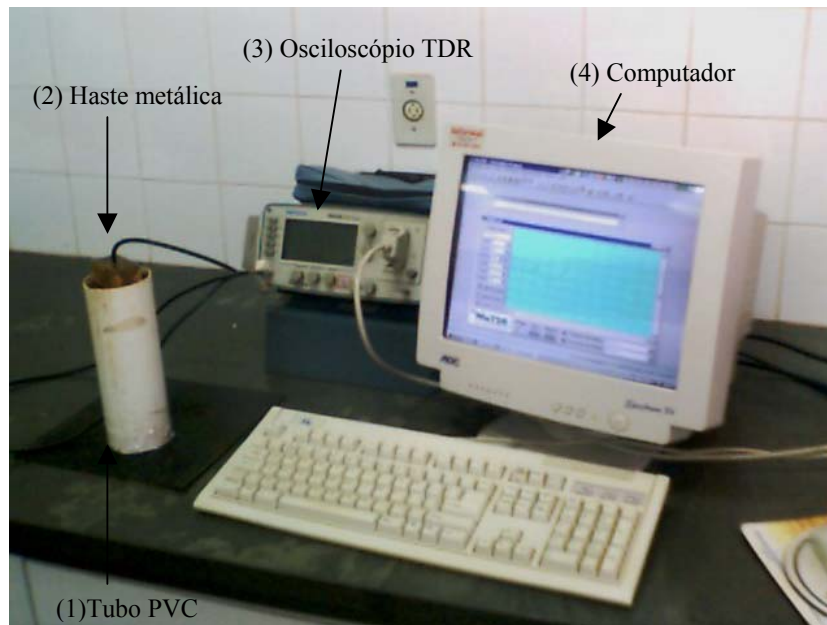


Figura 11 – Sistema utilizado para a determinação do teor de água no solo, pela técnica TDR

Na Figura 12, observa-se o tubo preenchido com amostra de solo e a sonda do TDR introduzida para análise.



Figura 12 – Tubo PVC com amostra de solo e a sonda TDR.

Na Figura 13, observa-se uma sonda utilizada nas análises com o TDR. Trata-se de uma sonda com 3 hastes metálicas conectadas a um cabo de 50Ω e um conector BNC.



Figura 13 – Sonda para o TDR.

5.2.4 Obtenção de dados

Os dados foram obtidos por meio do software Win TDR versão 6.0. Este software permitiu obter pelo computador, a curva fornecida pelo osciloscópio. Uma vez estabelecida a temperatura da amostra e selecionados os pontos de emissão e reflexão, o software calcula a constante dielétrica relativa e determina o teor de água na amostra com base na calibração exigida. O modelo padrão de calibração é o de Topp et al. (1980).

Nas Figuras, 14, 15 e 16, estão alguns exemplos das telas do software WinTDR, versão 6.0.

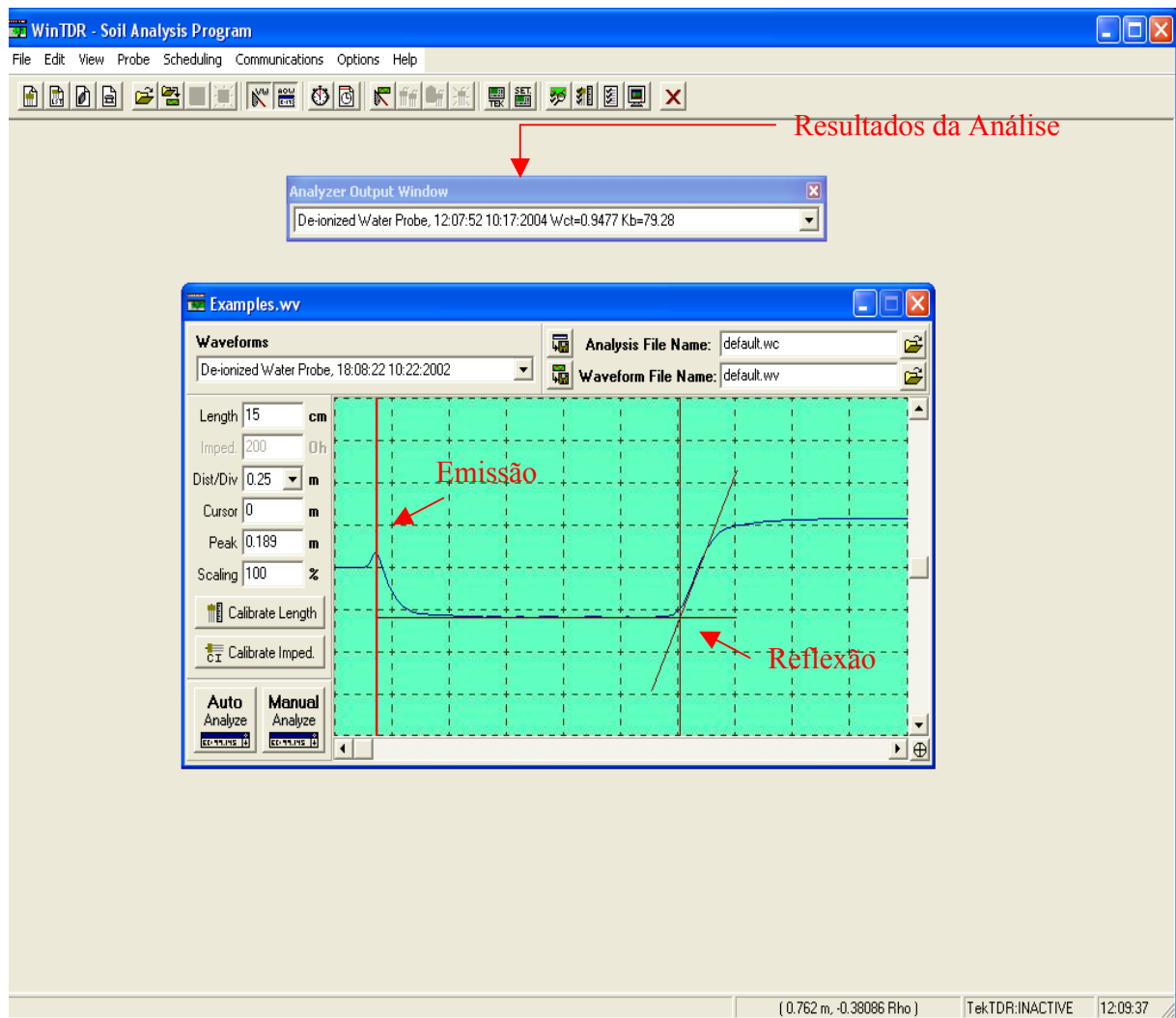


Figura 14 – Janela Principal do software WinTDR 6.0 (OR et al. 2003).

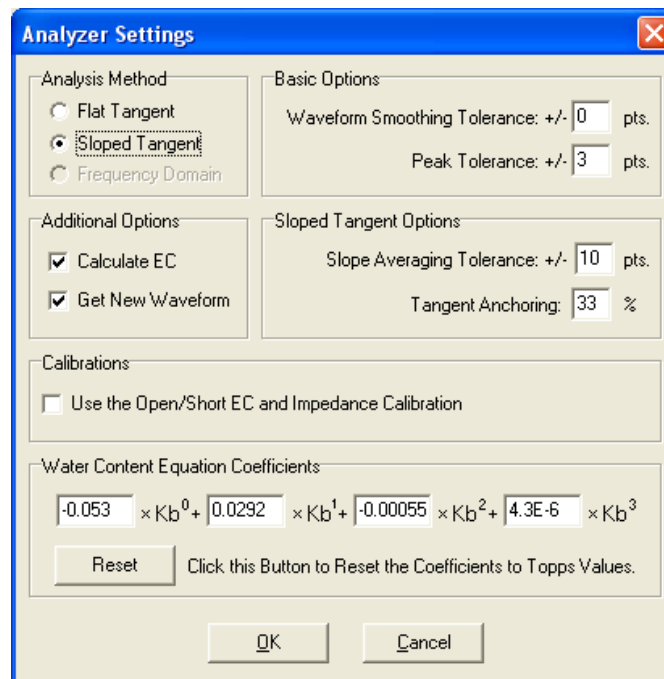


Figura 15 - Software WinTDR 6.0, previamente calibrado com o modelo polinomial cúbico de Topp.(OR et al. 2003).

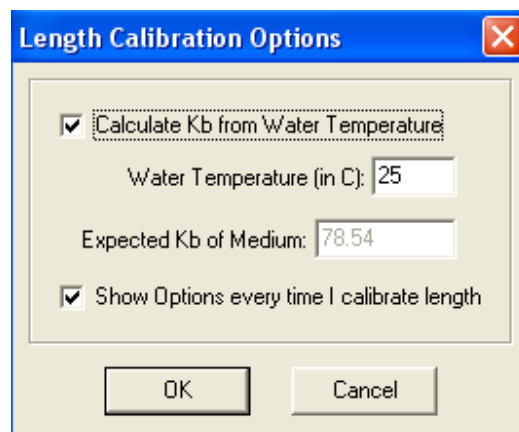


Figura 16 - Janela de controle de temperatura do software Win TDR 6.0. (OR et al. 2003).

5.2.5 Calibração do TDR

A calibração do TDR ou obtenção da Equação que fornece o teor de água no solo em função da constante dielétrica medida pelo TDR, foi encontrada a partir de uma regressão polinomial tomando como base um gráfico do teor de água no solo, obtido pelo método gravimétrico e a constante dielétrica do solo, obtida pela técnica TDR.

5.2.6 Curvas de Calibração para o TDR

As curvas foram obtidas a partir de análise de regressão polinomial cúbica referente aos gráficos dos Teores de água obtidos pelo método gravimétrico em função das constantes dielétricas relativas obtidas pela técnica TDR. As regressões foram realizadas através do software Microcal Origin 6.0. Estas curvas estão indexadas aos tipos de solo, conforme o Quadro 2 página 26 e encontram-se no APÊNDICE II página 86.

5.2.7 Curvas de Calibração para a sonda de nêutrons

A curvas foram obtidas a partir de análise de regressão linear referente aos gráficos dos Teores de água obtidos pelo método gravimétrico em função das contagens relativas (CR) obtidas pela técnica dos nêutrons moderados. As regressões foram realizadas através do software Microcal Origin 6.0. Estas curvas estão indexadas aos tipos de solo, conforme o Quadro 2 página 26 e encontram-se no APÊNDICE III página 94.

5.2.8 Análise estatística

As análises estatísticas constituíram na verificação da significância entre as variáveis: solo, profundidade e metodologia; tomando-se como variável dependente o teor de água no solo. Estas verificações foram feitas por meio de uma análise de variância na forma fatorial inteiramente casualizada e Teste de Tukey com significância de 5%. Para as análises estatísticas foi utilizado o software SAS versão 6.0 (1989).

Foram realizadas interações entre 7 tipos de solo (S1- *Neossolo Flúvico*, S2- *Nitossolo Vermelho Distroférico*, S3- *Neossolo Quartzarênico*, S4- *Latossolo Vermelho Distroférico*, S5- *Nitossolo Vermelho Distroférico*, S6- *Latossolo Vermelho Distroférico* e S7- *Latossolo Vermelho Eutrófico*), à profundidades (P15 e P30) e 4 metodologias (M1- Método gravimétrico, M2- Método da sonda de nêutrons, M3- Método TDR com modelo de Topp e M4- Método TDR calibrado para cada tipo de solo) com 24 replicações para o solo da seqüência 5 (Unesp-Horticultura), *Nitossolo Vermelho Distroférico* e 10 replicações para os demais solos.

As interações estatísticas avaliadas foram: Solo, Profundidade, Metodologia, Solo e Profundidade, Solo e Metodologia, Profundidade e Metodologia e Solo, Profundidade e Metodologia.

A partir das interações identificou-se a melhor metodologia e analisou-se os comportamentos das demais metodologias em relação ao tipo de solo, profundidade e teor de água.

Para a avaliação das correlações entre metodologia, solo e profundidade para teor de água, adotou-se a Equação 12 para avaliação dos erros.

$$Er = \frac{TM - TG}{TG} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

Er é o Erro (%)

TM é o Teor de Água obtido pelo Método analisado (%).

TG é o Teor de Água obtido pelo Método Gravimétrico, considerado padrão (%).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados que se encontram no APÊNDICE I página 61, foram agrupados para cada solo analisado, respeitando-se a seqüência das metodologias: Primeiro o Método Gravimétrico, depois o Método do TDR (com a calibração geral de Topp e calibrações individuais para cada tipo de solo) e, por último, o Método nêutrons moderados ou Método da sonda de nêutrons.

Para interpretação dos resultados nos itens subseqüentes, deve-se ater-se na nomenclatura utilizada onde: S1, S2, S3, S4, S5,S6 e S7, foram os solos analisados, que estão detalhados no Quadros 2 página 26. P15 e P30, foram as profundidades solo avaliadas neste trabalho. M1, M2, M3 e M4, foram as metodologias empregadas, em que: M1 é o método gravimétrico, M2 é o método da moderação de nêutrons, M3 é o método do TDR com calibração padrão de Topp e M4 é o método do TDR com calibração para cada tipo de solo.

6.1 Comparação dos métodos para determinação do teor de água no solo

Através do Quadro 6 pode-se observar as interações para análise estatística, tendo o teor de água como variável dependente.

Quadro 6 – Análise estatística das variáveis e suas interações

Interação	Grau de Liberdade	Análise Tipo I	Média ²	Valor de F Estimativa	Pr > F Significância
Solo	6	35217.69319	5869.615553	632.55	<.0001
Prof	1	600.96360	600.96360	64.76	<.0001
Método	3	1301.15990	433.71997	46.74	0.0405
Solo*Prof	6	123.04519	20.50753	2.21	<.0001
Solo*Método	18	3628.81361	201.60076	21.73	<.0001
Prof*Método	3	460.04460	153.34820	16.53	<.0001
Solo*Prof*Método	18	858.22128	47.67896	5.14	<.0001
R ²	Coeficiente de Variação		Variância	Teor de água(%)	
0.880682	16.81784		3.046194	18.11287	

Observando-se os resultados apresentados no Quadro 6, verifica-se que as variáveis analisadas e suas interações foram estatisticamente significativas, permitindo ainda observar uma boa correlação entre elas apresentando numericamente um $R^2=0,88$ aproximadamente.

No Quadro 7, são apresentadas as médias dos teores de água para cada metodologia empregada. Para facilitar a interpretação Grupos com letras iguais não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. Entretanto, pode-se observar que, o método TDR calibrado para cada tipo de solo apresentou valores semelhantes ao método Gravimétrico, sendo este, padrão de referência que também pode ser observado na Figura 17.

O método TDR calibrado para cada tipo de solo apresentou um erro de aproximadamente 0,09% em relação ao padrão (Gravimétrico). Para o método dos nêutrons moderados houve um erro de aproximadamente 9,44%, e para o TDR-Topp, o erro foi de 12,07%.

Quadro 7 – Análise de Tukey a 5% para Metodologia

Grupos	Média(%)	Número de Pontos	Metodo
B	18.2288	168	Gravimétrico
B	18.2443	168	TDR – Calibrado
A	19.9492	168	Nêutrons Moderados
C	16.0291	168	TDR-Topp
\bar{X}	18,11287		

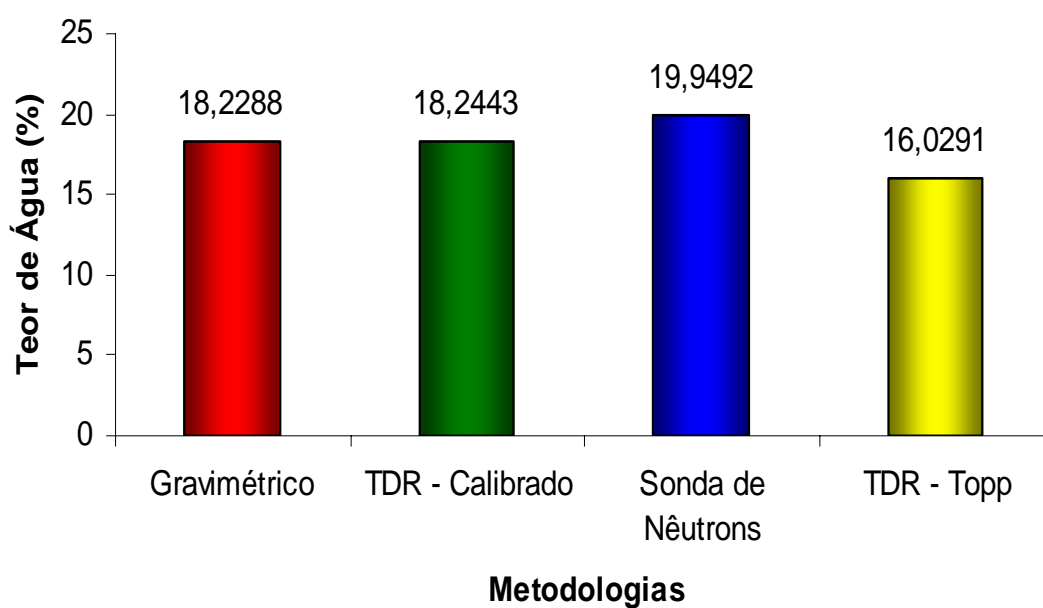


Figura 17 - Teor de água em função das Metodologias empregadas.

6.2 Teor de água para tipo de solo, às Profundidades de 15 e 30 cm

No Quadro 8 são apresentados os resultados obtidos para os 7 tipos de solos analisados, à 2 profundidades (15 e 30cm) e o respectivo teor de água que também pode ser observado na Figura 18.

Quadro 8 – Valores do teor de água para solo e profundidade.

Solo	Profundidade	Teor de água (%)
S1	15	14,4675000
S1	30	18,2185000
S2	15	28,8627500
S2	30	30,6165000
S3	15	23,2575000
S3	30	24,7817708
S4	15	14,4022500
S4	30	15,8885000
S5	15	13,8990000
S5	30	15,8502500
S6	15	12,3405000
S6	30	14,9990000
S7	15	4,4145000
S7	30	5,0427500

Analisando os resultados obtidos, estes permitiram inferir que para todos os solos analisados o teor de água na profundidade de 15cm foi menor que na profundidade de 30cm.

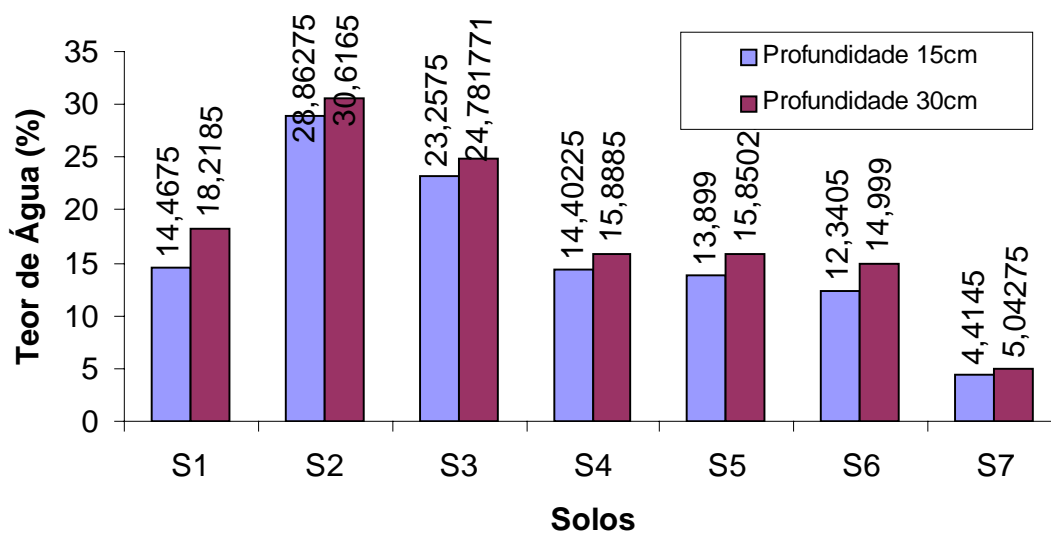


Figura 18 – Teor de Água em função das profundidades e tipo de solo.

6.3 Teor de Água para cada tipo de solo e metodologia

No Quadro 9 são apresentados os valores referentes aos solos analisados, metodologias e teores de água. Para cada solo analisado, obteve-se o valor do teor de água para cada metodologia empregada. Com base no Quadro 9 e na Figura 19, pode-se observar o comportamento das metodologias empregadas, levando em consideração o teor de água e tipo de solo.

Quadro 9 – Valores do teor de água para solo e metodologia.

Solo	Metodologia	Teor de água (%)
S1	M1	16,8035000
S1	M2	20,7505000
S1	M3	11,0140000
S1	M4	16,8040000
S2	M1	26,3900000
S2	M2	38,1835000
S2	M3	27,9825000
S2	M4	26,4025000
S3	M1	26,2860417
S3	M2	22,9852083
S3	M3	20,5168750
S3	M4	26,2904167
S4	M1	14,5170000
S4	M2	14,2300000
S4	M3	17,2090000
S4	M4	14,6255000
S5	M1	13,6805000
S5	M2	19,9445000
S5	M3	12,1940000
S5	M4	13,6795000
S6	M1	13,3955000
S6	M2	14,8995000
S6	M3	12,9890000
S6	M4	13,3950000
S7	M1	5,2490000
S7	M2	4,4010000
S7	M3	4,0155000
S7	M4	5,2490000

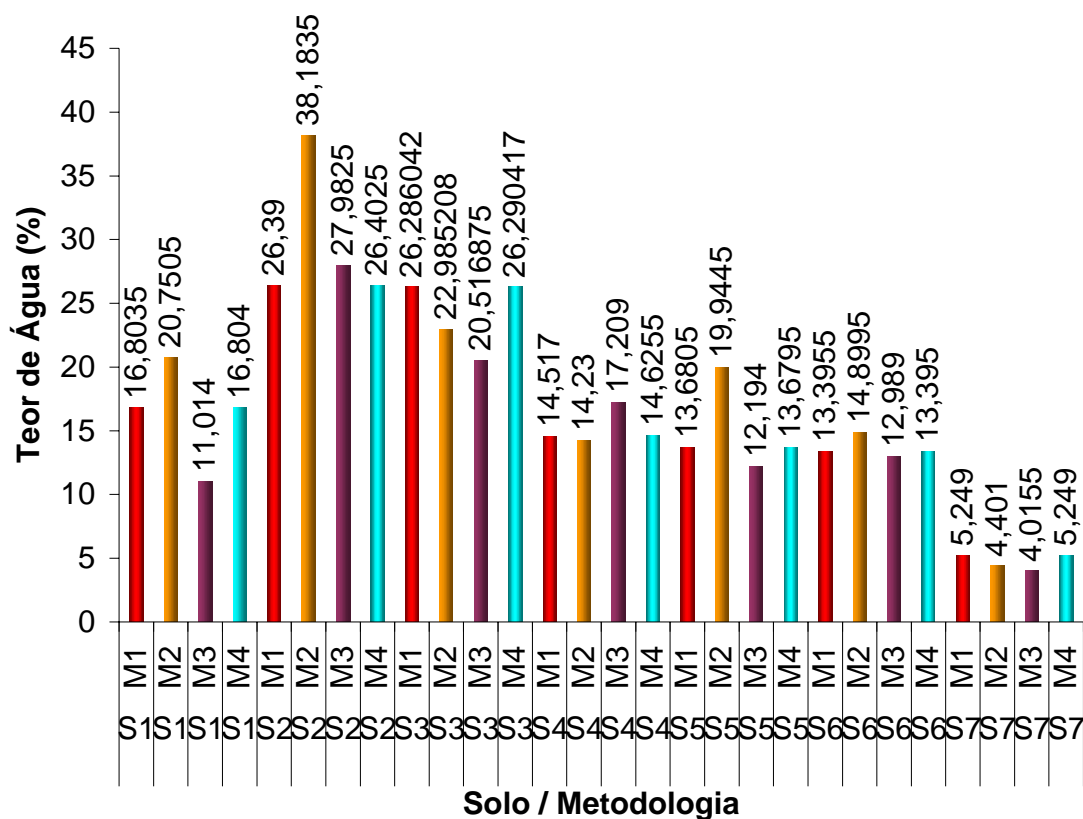


Figura 19 – Teor de água em função de tipos de solos e metodologias.

Observando a Figura 19 e o Quadro 9, verifica-se que:

Para o solo 1, praticamente não houve diferença numérica entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,003%. Entretanto M2 estimou para mais o valor médio do teor de água, tendo um erro de 23,49%, enquanto que M3, estimou para menos tendo um erro de 34,45%. Observando as características físicas e químicas de S1, pôde-se estabelecer que: em termos de textura, há uma transição de arenosa para média a 15 e 30cm, respectivamente. A densidade de partículas permaneceu a mesma, $2,70\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica diminuiu de $6\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ para $5\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Para o solo 2, praticamente não houve diferença numérica entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,05%. Entretanto M2 estimou para mais o valor médio do teor de água, tendo um erro de 44,69%, enquanto que M3, estimou para mais, tendo um erro de 6,03%. Observando as características físicas e químicas de S2, pôde-se estabelecer que: em termos de textura, S2 é argilosa nas

profundidades de 15 e 30cm. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $3,01\text{g.cm}^{-3}$ a $3,03\text{g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica aumentou de 16g.dm^{-3} para 17g.dm^{-3} .

Para o solo 3, praticamente não houve diferença numérica entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,04%. Entretanto M2 estimou para menos o valor médio do teor de água, tendo um erro de 12,56%, enquanto que M3 estimou para menos, tendo um erro de 21,95%. Observando as características físicas e químicas de S3, pôde-se estabelecer que a textura para S3 é arenosa nas profundidades de 15 e 30cm. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $2,50\text{g.cm}^{-3}$ a $2,60\text{g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica aumentou de 2g.dm^{-3} para 4g.dm^{-3} .

Para o solo 4, praticamente não houve diferença numérica entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,75%. Entretanto M2 estimou para menos o valor médio do teor de água, tendo um erro de 1,98%, enquanto que M3 estimou para mais, tendo um erro de 18,54%. Observando as características físicas e químicas de S4, pôde-se estabelecer que a textura para S4 é média nas profundidades de 15 e 30cm. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $2,63\text{g.cm}^{-3}$ a $2,67\text{g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica diminuiu de 16g.dm^{-3} para 14g.dm^{-3} .

Para o solo 5, praticamente não houve diferença numérica entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,007%. Entretanto M2 estimou para mais o valor médio do teor de água, tendo um erro de 45,79%, enquanto que M3 estimou para menos, tendo um erro de 10,87%. Observando as características físicas e químicas de S5, pôde-se estabelecer que a textura para S5 é argilosa nas profundidades de 15 e 30cm. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $2,84\text{g.cm}^{-3}$ a $2,86\text{g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica diminuiu de 33g.dm^{-3} para 23g.dm^{-3} .

Para o solo 6, praticamente não houve diferença entre as metodologias M1 e M4, pois o erro apresentado por M4 em relação a M1 foi de 0,003%. Entretanto M2 estimou para mais o valor médio do teor de água, tendo um erro de 11,23%, enquanto que M3 estimou para menos, tendo um erro de 3,03%. Observando as características físicas e químicas de S6, pôde-se estabelecer que a textura para S6 é Argilosa nas profundidades de 15 e 30cm. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $2,86\text{g.cm}^{-3}$ a $2,82\text{g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica diminuiu de 15g.dm^{-3} para 13g.dm^{-3} .

Para o solo 7, não houve diferença entre as metodologias M1 e M4. Entretanto M2 estimou para menos o valor médio do teor de água, tendo um erro de 16,16%, enquanto que M3 estimou para menos, tendo um erro de 23,50%. Observando as características físicas e químicas de S7, pôde-se estabelecer que a textura para S7 é média e arenosa nas profundidades de 15 e 30cm, respectivamente. A densidade de partículas sofreu uma pequena variação de $2,74 \text{ g.cm}^{-3}$ a $2,72 \text{ g.cm}^{-3}$ e o índice de matéria orgânica aumentou de 12 g.dm^{-3} para 15 g.dm^{-3} .

Comparando as análises acima verifica-se que M2 (método da moderação de nêutrons) proporciona uma tendência em superestimar o teor de água em solos com textura transitando de média/argilosa a argilosa. Estes solos possuem uma densidade de partículas maior em relação aos demais, sugerindo que a densidade de partículas pode ser um fator de erro, concordando com Gracen e Hignet (1979). Outro fator de erro seria a variabilidade de matéria orgânica existente no solo, conforme sustentado por Prevedello (1987). Para M3 (método TDR com modelo de Topp), verifica-se que não pode ser aceita a determinação do teor de água em qualquer classificação de solo utilizando apenas esse modelo. Analisando os dados, verificou-se que dependendo do solo, houveram erros que chegaram a 34,5%. Dos 7 solos analisados, em 5 o modelo de Topp estimou para menos, o teor de água no solo. Conforme Tommaselli (2001), não é aconselhável a utilização do modelo de Topp para diferentes tipos de solo. Desta forma, observando os dados referentes a M4 (método TDR calibrado para cada tipo de solo), verificou-se uma excelente correlação com o método padrão, M1 – método gravimétrico, sendo o mais preciso.

7 CONCLUSÕES

Verificou-se que as interações das variáveis analisadas: solo, profundidade, metodologia, para teor de água, foram estatisticamente significativas.

Pode-se concluir que o método do TDR calibrado separadamente para cada tipo de solo, foi o que ofereceu maior precisão em relação ao padrão (método gravimétrico), pois ofereceu um erro de 0,09%. Em seguida, o método dos nêutrons moderados, com erro de 9,44% e, por último, o método do TDR com a calibração geral de Topp com erro de 12,07%.

Também se pode verificar a incidência do menor teor de água para profundidades superficiais. Neste caso a profundidade foi de 15cm.

A técnica TDR com calibração para cada tipo de solo demonstrou ser eficaz, com excelente precisão e de fácil utilização. O processo de calibração é fácil, porém demorado, pois necessita de uma correlação com o teor de água correspondente obtido pelo método gravimétrico.

Embora o nível de matéria orgânica existente no solo possa influenciar nos resultados obtidos pela técnica TDR, não se verificou influência significativa para o TDR calibrado para cada tipo de solo. Ao contrário, o modelo geral de Topp para o uso do TDR ofereceu erros consideráveis, onde os prováveis fatores causadores destes erros podem ser a densidade de partícula e o índice de matéria orgânica.

Em trabalhos futuros sugere-se mais estudos para a técnica TDR, de forma a buscar um processo de calibração ágil e eficaz. O método dos nêutrons moderados também demonstrou uma boa precisão. Entretanto verificou-se que o fator de erro ocorre juntamente com a variação na densidade de partículas e matéria orgânica no solo, o que permite também sugerir, mais estudos quanto a um processo de calibração ágil e eficaz.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, M.; FINN, E.J. **Física**. São Paulo, Ed. ADDISON-WESLEY, 1999, v. único, 936p.

ANDRADE, A.R.S. et al. Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n.3, p.411-415, 2001.

BICEGLI, C.I. et al. Outros equipamentos e métodos. In: CRESTANA, S. et al. (Ed.) **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996, cap.6, p.228-262.

BRUCE R. R.; LUXMOORE, R. J. Water retention: field methods. In KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Societe of America, 1986, cap.27, p. 663-686.

CASSEL, D. K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In KLUTE, A. (Ed.) **Methods of Soil Analysis I**, Physical and mineralogical methods. Madison: Soil Science of America. 1986, cap. 27, p. 563-596, 1986.

CASSEL, D. K.; KACHANOSKY, R.G.; TOPP, G.C. Pratical considerations for using TDR cable tester. **Soil Technology**, v.7, n.2, p.113-126, 1994.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI – IPH – UFRGS, s.d. 216 p. 1986.

CRESTANA, S. et al. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 291 p.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais, UNESP-FCA**, p. 487-491.

DASBERG, S.; HOPMANS, J. W. Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soils. **Soil Science Society of America Journal**, n.56, p. 1341-1345, 1992.

DAVIS, J. L.; CHUDOBIAK, W. J. In situ meter for measuring relative permittivity of soils. **Geology Survey of Canada**, Paper 75-1A, p. 75-79, 1975.

DAVIS, J.L.; ANNAN, P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v. 16, n.3, p. 574-582, 1980.

DIRKSEN, C. **Soil physics measurements**. Reiskirchen: Catena-Verlag, 1999, 154p.

DIRKSEN, C.; DASBERG, S. Improved calibration of time domain reflectometry soil water content measurements. **Soil Science Society of America Journal**, n. 57, p. 660-667, 1993.

DOBSON, M. C. et al. Microwave dielectric behavior of wet soil II. Dielectric mixing models. **IEE Transactions. Geoscience Remote Sensors**. N.23, p. 35-46, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1999, 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1997, 212p.

FELLNER-FELDEGG, H. The measurement of dielectrics in time domain. **The Journal of Physical Chemistry**, v. 73, n.3, p. 616-623, 1969.

FERREIRA, E.J.S. et al. Estimativa dos erros envolvidos na determinação da umidade do solo pela sonda de nêutrons. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, Goiânia, 2003.

GUERRA, H. O. C. **Física dos solos**. Campina Grande: Universidade Federal de Pernambuco, 173 p. 2000.

GOMIDE, R. L. Importância da automação nos sistemas agrícolas irrigados, visando a irrigação inteligente e a agricultura de precisão. In: **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**, I workshop sobre aplicações da técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) na agricultura, 2001, Campinas: UNICAMP, p.1-36.

GONÇALVES Jr., A. A. **Metrologia, Parte I, 2001**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001, 117p.

GRACEN, E. L.; HIGNET, C. T. Sources of bias in the field calibration of a neutron meter in cracking clay. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.405-415, 1979.

HALLIKAINEN, M.T. et al. Microwave dielectric behavior of wet soil – Part I: Empirical models and experimental observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.23, n.1, p. 25-34, 1985.

HERKELRATH, W. N.; HAMBURG, S. P.; MURPHY, F. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry. **Water Resources Research**, v. 27, n. 5, p. 875-864, 1991.

HERMMANN Jr., P.S. **Construção de um equipamento para medida de umidade do solo através da técnica de microondas**. 1993. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993.

HERMMANN Jr, P.S.; CONCIANI, W.; SOARES, M.M.; CRESTANA, S. Determinação da constante dielétrica relativa de um meio poroso através de microondas (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.

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.

HOOK, W. R.; LIVINGSTON, N. J. Errors in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, n.60, p. 35-41, 1996.

JONES, S.B. et al. Time domain reflectometry measurement principles and applications, **Hydrological Processes**, n.16, p.141-153, 2002.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia – relações solo-planta**, São Paulo: Agronômica Ceres, 1979, 264p.

KLEMUNES Jr., J. **Determining soil volumetric moisture content using time domain reflectometry**. Mc lean: U.S. Department of Transportation, 1998, 74p.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Society of America, cap. 28, p. 687-734, 1986.

LEY, T.W. An in-depth look at soil water monitoring and measurement tools. **Irrigation Journal**. v.3, n.44, p. 8-20, 1994.

LOOK, B.; REEVES, I. The application of time domain reflectometry for measurement on unfrozen water content in frozen soils. **Cold Region Science Technology**, v.3, p. 205-210, 1982.

MARCIANO, C. R. et al. Variabilidade do potencial mátrico e do conteúdo de água no solo em experimento de manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.22, p. 563-571, 1998.

NOBORIO, K. Measurements of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 31, p. 213-237, 2001.

OR, D.; WRAITH, J. M. Temperature effects on soil bulk dielectrical permittivity measured by time domain reflectometry: a physical model. **Water Resources Research**, v.35, n.2, p. 371-383, 1999.

OR, D.; WRAITH, J.M. Soil water content and water potential relationships. In: SUMMER, M.E. **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

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

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: O próprio, 477 p. 2000.

PREVEDELLO, C. L. **Teoria do fluxo da água em solos não saturados: novos conceitos e aplicações**. 1987. 264 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

RADA, G. R. et al. **LTPP seasonal monitoring program: instrumentation, installation and data collection guidelines**, MC Lean: U. S. Department of Transportation, 70 p. 1994.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**, Campinas: IAC-Instituto Agronômico de Campinas, 285 p. 2001.

ROBINSON, D. A.; COOPER, J. D.; GARDNER, C. M .K. Modeling the relative permittivity of soils using hygroscopic water content. **Journal of Hydrology**, vol. 255, p. 39-49, 2002.

ROTH, K; et al. Calibration of time-domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. **Water Resources Research**, v.26, n.10, p. 2267-2273, 1990.

ROTH, K.; MALICK, M. A.; PLAGGE, R. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. **Journal of Soil Science**, v.43, p.113, 1992.

SCOTT, M.G.; PHANG, W.A.; PATTERSON, D.E. **Developments in situ monitoring of moisture in pavement structures by time domain reflectometry (TDR)**. Ontario: The Transportation Technology and Energy Branch, 1983, 85 p.

SCHUMUGGE, T.J.; JACKSON, T.J. Survey of methods for soil moisture determination. **Water Resources Research**, v. 16, n.6, p.961-979, 1980.

SAS INSTITUTE INC., SAS/STAT[®]. **User's Guide, version 6, Fourth Edition, Volume 2**, CARY, INC: Institute Inc., 1989. 846 pp.

SELIG, E.T.; MANSUKHANI, S. Relationship of soil moisture to the dielectric property. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, v. 101, n.8, p. 755-770, 1975.

SOUZA, L. D.; REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. N. 20, p. 183-189, 1996.

TOMMASELLI, J. T.G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho de TDR (time-domain reflectometry)**. 1997. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro Nacional de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

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.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; Measurements of soil water content using time domain reflectometry (TDR): a field evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, n.49, p. 19-24, 1985.

TURATTI, A.L.; et al. Variabilidade espacial do solo e sua implicação na calibração de sondas de nêutrons. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p.259-262, 1990.

VAZ, C.M.P.; HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil strength and water content with a combined penetrometer-moisture probe. **Soil Science Society of America Journal**, 65(1): 4-12, 2001.

VAZ, C.M.P. Aplicações de sondas espirais de TDR combinadas com tensiômetro e penetrômetro. In: **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**, I Workshop sobre aplicações da técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) na agricultura, Campinas: UNICAMP, p. 1-36, 2001.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros**. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgar Blüncher, 249p, 1996.

ZEGELIN, S. J.; WHITE, I.; JENKINS, D. R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurements using time domain reflectometry. **Water Resources Research**, n. 25, p. 2367-2376, 1989.

9 APÊNDICE

APÊNDICE I
DADOS EXPERIMENTAIS

APÊNDICE I

1 Solo Neossolo Flúvico

Quadro 10 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água								
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%
1	15	125	68,71	63,83	29,52	4,88	34,31	14,22
1	30	406	89,24	80,79	28,37	8,45	52,42	16,12
2	15	301	63,83	59,68	29,62	4,15	30,06	13,81
2	30	320	67,39	63,2	28,78	4,19	34,42	12,17
3	15	198	80,51	73,47	28,77	7,04	44,7	15,75
3	30	387	81,61	73,7	29,57	7,91	44,13	17,92
4	15	285	73,44	67,82	29,81	5,62	38,01	14,79
4	30	295	94,96	80,08	29,17	14,88	50,91	29,23
5	15	322	82,06	75,57	28,86	6,49	46,71	13,89
5	30	503	72,86	67,11	25,83	5,75	41,28	13,93
6	15	124	66,91	62,44	28,75	4,47	33,69	13,27
6	30	178	80,74	74,31	29,13	6,43	45,18	14,23
7	15	98	75,92	69,67	29,96	6,25	39,71	15,74
7	30	109	76,2	70,68	29,8	5,52	40,88	13,50
8	15	180	73,9	68,46	28,51	5,44	39,95	13,62
8	30	294	86,95	80,89	29,36	6,06	51,53	11,76
9	15	415	53,04	50,58	29,01	2,46	21,57	11,40
9	30	506	64,65	60,46	26,84	4,19	33,62	12,46
10	15	165	71,93	68,31	28,79	3,62	39,52	9,16
10	30	326	74,1	68,93	30,26	5,17	38,67	13,37

Quadro 11 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Batista.

Amostra	Prof.	TDR											Wct Calibrado %
		Wct		WctM	WctM %	Kb		KbM	Ec		EcM	WctM %	
		1a	2a			1a	2a		1a	2a			
1	15	0,1274	0,128	0,1277	12,77	7,07	7,1	7,085	0,0211	0,0208	0,02095	12,77	11,4918
1	30	0,1804	0,1796	0,18	18	9,6	9,56	9,58	0,0287	0,0289	0,0288	18	14,2835
2	15	0,1573	0,1587	0,158	15,8	8,46	8,53	8,495	0,0363	0,0364	0,03635	15,8	13,5286
2	30	0,24	0,2411	0,24055	24,055	12,82	12,88	12,85	0,0428	0,0427	0,04275	24,055	22,4932
3	15	0,1632	0,1631	0,16315	16,315	8,74	8,74	8,74	0,0249	0,0245	0,0247	16,315	13,7185
3	30	0,1643	0,1641	0,1642	16,42	8,8	8,79	8,795	0,0189	0,0192	0,01905	16,42	13,7579
4	15	0,1222	0,1221	0,12215	12,215	6,83	6,83	6,83	0,0133	0,0137	0,0135	12,215	10,8508
4	30	0,152	0,1525	0,15225	15,225	8,21	8,23	8,22	0,015	0,0152	0,0151	15,225	13,2778
5	15	0,1973	0,1977	0,1975	19,75	10,47	10,49	10,48	0,0395	0,039	0,03925	19,75	15,1276
5	30	0,1841	0,1849	0,1845	18,45	9,78	9,83	9,805	0,0267	0,0269	0,0268	18,45	14,4512
6	15	0,1493	0,1501	0,1497	14,97	8,08	8,12	8,1	0,0372	0,0374	0,0373	14,97	13,1521
6	30	0,1949	0,1952	0,19505	19,505	10,34	10,36	10,35	0,0297	0,0291	0,0294	19,505	14,9704
7	15	0,248	0,2475	0,24775	24,775	13,29	13,26	13,275	0,0502	0,0497	0,04995	24,775	25,1481
7	30	0,2053	0,2065	0,2059	20,59	10,89	10,95	10,92	0,0321	0,0322	0,03215	20,59	15,7901
8	15	0,1725	0,1729	0,1727	17,27	9,2	9,23	9,215	0,024	0,024	0,024	17,27	14,0388
8	30	0,1661	0,1662	0,16615	16,615	8,89	8,89	8,89	0,0104	0,0106	0,0105	16,615	13,8241
9	15	0,1363	0,1374	0,13685	13,685	7,48	7,52	7,5	0,0137	0,0142	0,01395	13,685	12,3220
9	30	0,1367	0,1375	0,1371	13,71	7,49	7,53	7,51	0,0097	0,0092	0,00945	13,71	12,3391
10	15	0,1295	0,1303	0,1299	12,99	7,16	7,2	7,18	0,0169	0,0168	0,01685	12,99	11,7038
10	30	0,2109	0,2097	0,2103	21,03	11,19	11,13	11,16	0,0261	0,0261	0,0261	21,03	16,2526

Quadro 12 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons

Amostra	Sonda de Nêutrons Ar		6524		6569		Fator Temperatura		6546,5
	Prof.	1a	2a	3a	4a	Média	CR	Theta	
1	15	6601	6708	6817	6675	6700,25	1,0235	13,9531	
1	30	9275	9298	9134	9302	9252,25	1,4133	14,5810	
2	15	6871	6799	6825	6671	6791,50	1,0374	13,9755	
2	30	9765	9834	9927	9971	9874,25	1,5083	14,7341	
3	15	6622	6655	6747	6636	6665,00	1,0181	13,9444	
3	30	9858	9652	9769	9879	9789,50	1,4954	14,7132	
4	15	5221	5409	5285	5355	5317,50	0,8123	13,6128	
4	30	8979	9010	9060	8901	8987,50	1,3729	14,5159	
5	15	6682	6515	6669	6678	6636,00	1,0137	13,9372	
5	30	9675	9765	9719	9659	9704,50	1,4824	14,6923	
6	15	7500	7754	7521	7654	7607,25	1,1620	14,1762	
6	30	9661	9717	9753	9582	9678,25	1,4784	14,6858	
7	15	8001	7868	7869	7882	7905,00	1,2075	14,2495	
7	30	9218	9244	9467	9144	9268,25	1,4158	14,5849	
8	15	6305	6400	6431	6333	6367,25	0,9726	13,8711	
8	30	8341	8354	8542	8651	8472,00	1,2941	14,3890	
9	15	3906	3885	4003	3827	3905,25	0,5965	13,2653	
9	30	7900	7961	8061	8030	7988,00	1,2202	14,2699	
10	15	6072	6093	6108	6270	6135,75	0,9373	13,8141	
10	30	9604	9295	9572	9561	9508,00	1,4524	14,6439	

2 Solo Nitossolo Vermelho Distroférico

Quadro 13- Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água								
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%
1	15	125	79,35	70,26	26,52	9,09	43,74	20,78
1	30	406	80,15	68,93	28,26	11,22	40,67	27,59
2	15	113	86,86	74,78	26,78	12,08	48	25,17
2	30	301	83,73	72,45	29,63	11,28	42,82	26,34
3	15	330	76,99	67,21	29,19	9,78	38,02	25,72
3	30	415	71,5	63,09	29,01	8,41	34,08	24,68
4	15	285	92,06	79,6	29,81	12,46	49,79	25,03
4	30	322	80,79	70,24	28,86	10,55	41,38	25,50
5	15	294	101,85	86,45	29,35	15,40	57,1	26,97
5	30	295	101,28	85,38	29,16	15,90	56,22	28,28
6	15	98	68,91	60,82	29,95	8,09	30,87	26,21
6	30	198	85,46	74,59	28,77	10,87	45,82	23,72
7	15	387	106,53	89,63	29,57	16,90	60,06	28,14
7	30	506	97,59	80,86	26,83	16,73	54,03	30,96
8	15	165	80,59	69,93	28,77	10,66	41,16	25,90
8	30	320	85,62	70,4	28,8	15,22	41,6	36,59
9	15	178	104,85	89,09	29,12	15,76	59,97	26,28
9	30	180	97,48	81,78	28,51	15,70	53,27	29,47
10	15	109	75,02	67,36	29,08	7,66	38,28	20,01
10	30	124	72,99	64,3	28,77	8,69	35,53	24,46

Quadro 14 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado.

Amostra	Prof.	TDR										Wct Calibrado
		Wct		Kb		Ec		KbM	EcM	WctM	WctM %	
		1a	2a	1a	2a	1a	2a					
1	15	0,2743	0,275	14,91	14,95	0,1135	0,1143	14,93	0,1139	0,27465	27,465	26,1647
1	30	0,2958	0,2961	16,32	16,34	0,1343	0,1346	16,33	0,13445	0,29595	29,595	26,1333
2	15	0,3113	0,313	17,41	17,53	0,0997	0,1	17,47	0,09985	0,31215	31,215	26,4713
2	30	0,2241	0,2248	11,91	11,95	0,0222	0,0232	11,93	0,0227	0,22445	22,445	22,8012
3	15	0,2459	0,2471	13,17	13,23	0,0612	0,0611	13,2	0,06115	0,2465	24,65	25,2747
3	30	0,228	0,2281	12,13	12,14	0,055	0,0554	12,135	0,0552	0,22805	22,805	23,3472
4	15	0,347	0,3478	20,13	20,2	0,1082	0,1085	20,165	0,10835	0,3474	34,74	32,3338
4	30	0,2921	0,2915	16,07	16,03	0,0702	0,0705	16,05	0,07035	0,2918	29,18	26,1312
5	15	0,3433	0,3432	19,83	19,83	0,1072	0,1071	19,83	0,10715	0,34325	34,325	31,0252
5	30	0,2861	0,251	15,67	13,47	0,0777	0,0585	14,57	0,0681	0,26855	26,855	26,1246
6	15	0,2578	0,2583	13,88	13,91	0,0946	0,0955	13,895	0,09505	0,25805	25,805	25,8776
6	30	0,2182	0,2188	11,59	11,62	0,0433	0,0434	11,605	0,04335	0,2185	21,85	21,8006
7	15	0,3321	0,3336	18,95	19,07	0,1332	0,1334	19,01	0,1333	0,33285	33,285	28,6182
7	30	0,2662	0,2677	14,39	14,49	0,0933	0,094	14,44	0,09365	0,26695	26,695	26,0968
8	15	0,331	0,3319	18,86	18,93	0,1133	0,1136	18,895	0,11345	0,33145	33,145	28,3615
8	30	0,3527	0,3533	20,6	20,65	0,0674	0,0678	20,625	0,0676	0,353	35,3	34,4792
9	15	0,2446	0,2459	13,09	13,17	0,0886	0,0887	13,13	0,08865	0,24525	24,525	25,1891
9	30	0,2548	0,255	13,69	13,71	0,0941	0,0939	13,7	0,094	0,2549	25,49	25,7500
10	15	0,292	0,2933	16,07	16,16	0,1116	0,1129	16,115	0,11225	0,29265	29,265	26,1301
10	30	0,2095	0,2094	11,12	11,11	0,0414	0,0421	11,115	0,04175	0,20945	20,945	19,9509

Quadro 15 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons

Amostra	Sonda de Nêutrons Ar		6203		6511		Fator Temp. Médio		6357
	Prof.	1a	2a	3a	4a	Média	CR	Theta	
1	15	5442	5591	5507	4609	5287,25	0,8317	31,0315	
1	30	12717	12582	12656	12510	12616,25	1,9846	44,8431	
2	15	5258	5189	5163	5164	5193,50	0,8170	30,8548	
2	30	11540	11462	11433	11496	11482,75	1,8063	42,7070	
3	15	6913	6910	6870	6709	6850,50	1,0776	33,9775	
3	30	11975	11210	11340	11340	11466,25	1,8037	42,6759	
4	15	6395	6429	6990	6509	6580,75	1,0352	33,4691	
4	30	11679	11699	11674	11761	11703,25	1,8410	43,1225	
5	15	7214	7024	7159	7227	7156,00	1,1257	34,5532	
5	30	12155	12186	12317	12045	12175,75	1,9153	44,0129	
6	15	6046	5949	5961	6118	6018,50	0,9468	32,4095	
6	30	10774	10784	10817	10922	10824,25	1,7027	41,4660	
7	15	6575	6678	6446	6520	6554,75	1,0311	33,4201	
7	30	12245	12350	12268	12140	12250,75	1,9271	44,1543	
8	15	6853	6990	6972	6901	6929,00	1,0900	34,1254	
8	30	12942	12946	12155	12249	12573,00	1,9778	44,7616	
9	15	6808	6858	6868	6773	6826,75	1,0739	33,9327	
9	30	12035	12016	12014	12041	12026,50	1,8919	43,7317	
10	15	6230	6240	6193	6362	6256,25	0,9842	32,8576	
10	30	11008	10898	10962	11141	11002,25	1,7307	41,8015	

3 Solo Neossolo Quartzarênico

Quadro 16 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água								
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%
1	15	302	93,78	91,79	30,26	1,99	61,53	3,23
1	30	370	88,54	82,43	28,97	6,11	53,46	11,43
2	15	118	85,05	82,93	26,1	2,12	56,83	3,73
2	30	488	70,89	69,51	27,19	1,38	42,32	3,26
3	15	144	81,11	79,23	27,44	1,88	51,79	3,63
3	30	483	82,97	81,31	28,54	1,66	52,77	3,15
4	15	110	95,97	91,53	29,27	4,44	62,26	7,13
4	30	140	90,98	89,1	29,44	1,88	59,66	3,15
5	15	179	98,42	88,42	28,82	10,00	59,6	16,78
5	30	442	101,69	98,43	29,03	3,26	69,4	4,70
6	15	310	80,26	77,04	28,42	3,22	48,62	6,62
6	30	405	101,81	98,32	29,41	3,49	68,91	5,06
7	15	421	75,78	73,64	28,1	2,14	45,54	4,70
7	30	478	86,79	84,66	27,29	2,13	57,37	3,71
8	15	408	92,34	89,7	28,07	2,64	61,63	4,28
8	30	476	83,61	81,58	27,77	2,03	53,81	3,77
9	15	330	79,21	77,76	29,15	1,45	48,61	2,98
9	30	490	79,88	77,61	29,38	2,27	48,23	4,71
10	15	312	87,21	84,37	26,86	2,84	57,51	4,94
10	30	437	77,96	76,06	28,79	1,90	47,27	4,02

Quadro 17 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado

Amostra	Prof.	Wct		WctM	WctM %	Kb		KbM	Ec		EcM	WctM%	Wct Calibrado
		1a	2a			1a	2a		1a	2a			
1	15	0,0313	0,0278	0,02955	2,955	3,06	2,92	2,99	-0,0044	-0,0041	-0,00425	2,955	3,4882
1	30	0,0439	0,0444	0,04415	4,415	3,55	3,57	3,56	-0,0059	-0,0055	-0,0057	4,415	4,9093
2	15	0,0447	0,0449	0,0448	4,48	3,58	3,59	3,585	-0,0035	-0,0039	-0,0037	4,480	5,0015
2	30	0,0345	0,0279	0,0312	3,12	3,18	2,93	3,055	-0,0071	-0,0067	-0,0069	3,120	3,5994
3	15	0,0277	0,0346	0,03115	3,115	2,92	3,19	3,055	-0,007	-0,007	-0,007	3,115	3,5994
3	30	0,0167	0,0162	0,01645	1,645	2,5	2,48	2,49	-0,0084	-0,0084	-0,0084	1,645	2,8076
4	15	0,0409	0,0337	0,0373	3,73	3,43	3,15	3,29	-0,0076	-0,007	-0,0073	3,730	4,0941
4	30	0,0289	0,0292	0,02905	2,905	2,97	2,98	2,975	-0,0077	-0,0079	-0,0078	2,905	3,4638
5	15	0,0626	0,0626	0,0626	6,26	4,3	4,3	4,3	-0,0025	-0,0017	-0,0021	6,260	9,3062
5	30	0,0329	0,0392	0,03605	3,605	3,12	3,36	3,24	-0,0067	-0,0068	-0,00675	3,605	3,9747
6	15	0,0644	0,0642	0,0643	6,43	4,37	4,36	4,365	-0,0006	-0,0008	-0,0007	6,430	9,8928
6	30	0,0412	0,0357	0,03845	3,845	3,44	3,23	3,335	-0,0062	-0,0064	-0,0063	3,845	4,2092
7	15	0,0452	0,0448	0,045	4,5	3,6	3,58	3,59	-0,0051	-0,0049	-0,005	4,500	5,0203
7	30	0,0346	0,0345	0,03455	3,455	3,19	3,18	3,185	-0,0075	-0,0075	-0,0075	3,455	3,8528
8	15	0,0348	0,035	0,0349	3,49	3,19	3,2	3,195	-0,0047	-0,0048	-0,00475	3,490	3,8743
8	30	0,0331	0,0356	0,03435	3,435	3,13	3,23	3,18	-0,0046	-0,0048	-0,0047	3,435	3,8422
9	15	0,0157	0,0271	0,0214	2,14	2,46	2,9	2,68	-0,008	-0,0078	-0,0079	2,140	3,0491
9	30	0,0401	0,0394	0,03975	3,975	3,4	3,37	3,385	-0,0051	-0,0052	-0,00515	3,975	4,3460
10	15	0,0508	0,0499	0,05035	5,035	3,82	3,79	3,805	-0,0032	-0,0033	-0,00325	5,035	5,9598
10	30	0,0768	0,0777	0,07725	7,725	4,88	4,97	4,925	-0,0014	-0,001	-0,0012	7,725	16,7022

Quadro 18 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons.

Sonda de Nêutrons		Ar		6548	6597	Fator Temperatura		
Amostra	Prof.	1a	2a	3a	4a	Média	6572,5 CR	Theta
1	15	2089	2010	2110	2120	2082,250	0,3168	1,1092
1	30	5973	5904	6104	6118	6024,750	0,9167	14,0066
2	15	2436	2276	2379	2410	2375,250	0,3614	2,0677
2	30	3569	3578	3466	3542	3538,750	0,5384	5,8740
3	15	1292	1228	1263	1253	1259,000	0,1916	-1,5840
3	30	2315	2412	2329	2337	2348,250	0,3573	1,9794
4	15	1356	1289	1407	1346	1349,500	0,2053	-1,2879
4	30	2287	2228	2084	2285	2221,000	0,3379	1,5631
5	15	3115	3088	3058	3051	3078,000	0,4683	4,3667
5	30	3901	3877	3930	3888	3899,000	0,5932	7,0525
6	15	3216	3041	3097	3150	3126,000	0,4756	4,5237
6	30	4570	4413	4520	4570	4518,250	0,6874	9,0783
7	15	2572	2550	2509	2542	2543,250	0,3870	2,6173
7	30	3458	3352	3280	3321	3352,750	0,5101	5,2655
8	15	2471	2487	2544	2503	2501,250	0,3806	2,4799
8	30	4169	4158	4220	4134	4170,250	0,6345	7,9398
9	15	1686	1672	1687	1700	1686,250	0,2566	-0,1863
9	30	2513	2615	2553	2638	2579,750	0,3925	2,7367
10	15	2674	2601	2632	2616	2630,750	0,4003	2,9035
10	30	4582	4646	4626	4598	4613,000	0,7019	9,3882

4 Solo Latossolo Vermelho Distrófico

Quadro 19 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água								
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%
1	15	140	75,61	70,67	29,27	4,94	41,4	11,93
1	30	370	76,01	71,19	28,93	4,82	42,26	11,41
2	15	179	82,25	76,83	28,8	5,42	48,03	11,28
2	30	312	87,96	81,92	26,78	6,04	55,14	10,95
3	15	144	77,69	72,5	27,39	5,19	45,11	11,51
3	30	478	71,65	67,7	27,17	3,95	40,53	9,75
4	15	110	82,22	75,91	29,19	6,31	46,72	13,51
4	30	483	76,19	69,89	28,58	6,30	41,31	15,25
5	15	437	62,84	59,15	28,68	3,69	30,47	12,11
5	30	490	73,78	68,63	29,36	5,15	39,27	13,11
6	15	442	81,04	74,25	28,83	6,79	45,42	14,95
6	30	488	82,52	75,04	27,14	7,48	47,9	15,62
7	15	330	72,6	68	29,2	4,60	38,8	11,86
7	30	476	76,69	71,94	27,74	4,75	44,2	10,75
8	15	113	67,57	62,16	26,81	5,41	35,35	15,30
8	30	408	74,42	68,94	28,07	5,48	40,87	13,41
9	15	310	77,13	71,8	28,35	5,33	43,45	12,27
9	30	405	75,97	71,53	29,39	4,44	42,14	10,54
10	15	302	73,59	68,06	30,27	5,53	37,79	14,63
10	30	421	95,58	80,46	26,02	15,12	54,44	27,77

Quadro 20 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado.

Amostra	Prof.	Wct		Kb		Ec		KbM	EcM	WctM	WctM %	Wct Calibrado
		1a	2a	1a	2a	1a	2a					
1	15	0,1032	0,1032	6	5,99	-0,0064	-0,0061	5,995	-0,00625	0,1032	10,32	11,8316
1	30	0,1762	0,1763	9,39	9,39	-0,0026	-0,0018	9,39	-0,0022	0,17625	17,625	17,7093
2	15	0,0977	0,0978	5,76	5,76	-0,006	-0,006	5,76	-0,006	0,09775	9,775	11,5044
2	30	0,1453	0,1457	7,89	7,91	-0,0002	-0,0003	7,9	-0,00025	0,1455	14,55	12,9185
3	15	0,0936	0,0935	5,58	5,58	-0,0041	-0,0036	5,58	-0,00385	0,09355	9,355	11,1697
3	30	0,1559	0,1566	8,39	8,43	0,0055	0,0052	8,41	0,00535	0,15625	15,625	13,7823
4	15	0,1092	0,1098	6,25	6,28	-0,0042	-0,0043	6,265	-0,00425	0,1095	10,95	12,0837
4	30	0,1563	0,1562	8,41	8,41	-0,0021	-0,0022	8,41	-0,00215	0,15625	15,625	13,7823
5	15	0,0829	0,083	5,13	5,13	-0,0035	-0,0033	5,13	-0,0034	0,08295	8,295	9,9347
5	30	0,1374	0,1377	7,52	7,54	0,0083	0,0085	7,53	0,0084	0,13755	13,755	12,6034
6	15	0,1739	0,1743	9,27	9,29	0,0123	0,0123	9,28	0,0123	0,1741	17,41	17,0776
6	30	0,1965	0,1963	10,42	10,42	0,0159	0,0161	10,42	0,016	0,1964	19,64	26,7222
7	15	0,0843	0,0845	5,19	5,2	-0,0061	-0,0063	5,195	-0,0062	0,0844	8,44	10,1528
7	30	0,129	0,1291	7,14	7,14	-0,0025	-0,0028	7,14	-0,00265	0,12905	12,905	12,4342
8	15	0,1022	0,1027	5,95	5,97	-0,001	-0,0009	5,96	-0,00095	0,10245	10,245	11,7899
8	30	0,151	0,1515	8,16	8,18	0,0067	0,0067	8,17	0,0067	0,15125	15,125	13,3006
9	15	0,1121	0,1124	6,38	6,4	-0,0006	-0,0003	6,39	-0,00045	0,11225	11,225	12,1655
9	30	0,1476	0,1485	8	8,04	0,0063	0,0065	8,02	0,0064	0,14805	14,805	13,0697
10	15	0,0838	0,0836	5,17	5,16	-0,0059	-0,0061	5,165	-0,006	0,0837	8,37	10,0539
10	30	0,1565	0,1571	8,42	8,45	-0,002	-0,0018	8,435	-0,0019	0,1568	15,68	13,8413

Quadro 21 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons.

Amostra	Sonda de Nêutrons Prof.	Ar				Média	Fator Temperatura 6743,5		Theta
		6765 1a	6722 2a	6722 3a	6722 4a		CR		
1	15	3828	3855	3890	3925	3874,50	0,5746	13,7606	
1	30	9463	9393	9470	9246	9393,00	1,3929	15,4675	
2	15	4238	4177	4197	4186	4199,50	0,6227	13,8612	
2	30	8270	8120	8322	8261	8243,25	1,2224	15,1119	
3	15	4873	4731	4979	4896	4869,75	0,7221	14,0685	
3	30	9636	9465	9435	9588	9531,00	1,4134	15,5102	
4	15	6322	6385	6309	6433	6362,25	0,9435	14,5301	
4	30	9861	10057	9868	9845	9907,75	1,4692	15,6267	
5	15	5788	5774	5769	5782	5778,25	0,8569	14,3495	
5	30	9791	9971	10031	9829	9905,50	1,4689	15,6260	
6	15	7033	7344	7223	7225	7206,25	1,0686	14,7911	
6	30	10678	10799	10802	10507	10696,50	1,5862	15,8707	
7	15	4471	4578	4376	4464	4472,25	0,6632	13,9455	
7	30	7815	7825	7779	7735	7788,50	1,1550	14,9712	
8	15	6478	6775	6715	6623	6647,75	0,9858	14,6184	
8	30	10608	10458	10500	10693	10564,75	1,5667	15,8299	
9	15	4926	5053	5190	5079	5062,00	0,7506	14,1279	
9	30	8955	8895	8883	8981	8928,50	1,3240	15,3238	
10	15	4761	4810	4803	4879	4813,25	0,7138	14,0510	
10	30	9535	9687	9711	9613	9636,50	1,4290	15,5428	

5 Solo Nitossolo Vermelho Distroférico

Quadro 22 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água									
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%	
1	15	294	54,52	50,2	29,3	4,32	20,9	20,67	
1	30	316	50,72	46,8	27,8	3,92	19	20,63	
2	15	78	54,5	48,75	28,8	5,75	19,95	28,82	
2	30	415	55,68	49,81	28,01	5,87	21,8	26,93	
3	15	134	53,65	48,78	28,41	4,87	20,37	23,91	
3	30	359	54,22	49,46	26,9	4,76	22,56	21,10	
4	15	163	54,66	48,92	28,99	5,74	19,93	28,80	
4	30	215	52,36	46,8	27,81	5,56	18,99	29,28	
5	15	139	52,01	47,86	29,8	4,15	18,06	22,98	
5	30	310	53,9	48,11	28,3	5,79	19,81	29,23	
6	15	113	51,91	46,04	26,8	5,87	19,24	30,51	
6	30	302	59,45	53,04	30,27	6,41	22,77	28,15	
7	15	123	49,72	44,42	27,36	5,30	17,06	31,07	
7	30	180	60,73	53,49	28,51	7,24	24,98	28,98	
8	15	174	50,79	46,21	29,41	4,58	16,8	27,26	
8	30	388	49,45	46,18	30,18	3,27	16	20,44	
9	15	198	55,76	50,14	28,79	5,62	21,35	26,32	
9	30	315	53,91	49,18	26,88	4,73	22,3	21,21	
10	15	387	56,19	50,58	29,57	5,61	21,01	26,70	
10	30	406	59,56	53,1	28,37	6,46	24,73	26,12	
11	15	301	53,78	48,28	28,64	5,50	19,64	28,00	
11	30	476	56,75	50,56	27,72	6,19	22,84	27,10	
12	15	473	50,73	46,65	27,21	4,08	19,44	20,99	
12	30	503	54,51	47,32	25,85	7,19	21,47	33,49	
13	15	110	54,17	48,98	29,15	5,19	19,83	26,17	

Cálculo do Teor de Água									
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%	
13	30	179	56,44	50,8	28,8	5,64	22	25,64	
14	15	98	56,56	51,09	29,97	5,47	21,12	25,90	
14	30	312	56,27	50,17	26,77	6,10	23,4	26,07	
15	15	483	53,17	48,83	28,49	4,34	20,34	21,34	
15	30	488	54,9	49,17	27,11	5,73	22,06	25,97	
16	15	398	54,57	49,66	27,07	4,91	22,59	21,74	
16	30	405	57,44	51,46	29,37	5,98	22,09	27,07	
17	15	420	52,05	48,08	26,3	3,97	21,78	18,23	
17	30	506	49,23	45,6	26,86	3,63	18,74	19,37	
18	15	442	61,27	54,07	28,83	7,20	25,24	28,53	
18	30	490	55,12	49,2	29,36	5,92	19,84	29,84	
19	15	109	52,26	47,38	29,09	4,88	18,29	26,68	
19	30	330	56,48	50,99	29,25	5,49	21,74	25,25	
20	15	140	58,08	51,69	29,26	6,39	22,43	28,49	
20	30	326	60,77	54,32	30,24	6,45	24,08	26,79	
21	15	322	57,44	51,6	28,87	5,84	22,73	25,69	
21	30	390	61,1	54,77	30,65	6,33	24,12	26,24	
22	15	370	51,39	45,99	28,9	5,40	17,09	31,60	
22	30	408	61,71	54,56	28,07	7,15	26,49	26,99	
23	15	144	60,56	53,5	27,39	7,06	26,11	27,04	
23	30	165	57,27	50,13	28,78	7,14	21,35	33,44	
24	15	421	57,92	50,77	28,01	7,15	22,76	31,41	
24	30	437	55,67	49,84	28,68	5,83	21,16	27,55	

Quadro 23 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado.

Amostra	Prof.	Wct		WctM	WctM %	Kb		KbM	Ec		EcM	WctM % Topp	Wct Calibrado
		1a	2a			1a	2a		1a	2a			
1	15	0,3048	0,3048	0,3048	30,48	16,95	16,95	16,95	0,0673	0,0673	0,0673	30,48	33,5084
1	30	0,3015	0,3015	0,3015	30,15	16,72	16,72	16,72	0,0451	0,0451	0,0451	30,15	32,9367
2	15	0,2972	0,2972	0,2972	29,72	16,42	16,42	16,42	0,0737	0,0737	0,0737	29,72	32,2663
2	30	0,2972	0,2972	0,2972	29,72	16,42	16,42	16,42	0,0737	0,0737	0,0737	29,72	32,2663
3	15	0,1648	0,1643	0,16455	16,455	8,83	8,8	8,815	0,02	0,0196	0,0198	16,455	23,8387
3	30	0,1541	0,1531	0,1536	15,36	8,31	8,26	8,285	0,0152	0,0148	0,015	15,36	22,3893
4	15	0,1529	0,1544	0,15365	15,365	8,25	8,32	8,285	0,0223	0,0221	0,0222	15,365	22,3893
4	30	0,2429	0,2555	0,2492	24,92	12,99	13,74	13,365	0,0659	0,0657	0,0658	24,92	28,7933
5	15	0,2116	0,2127	0,21215	21,215	11,23	11,29	11,26	0,011	0,0112	0,0111	21,215	27,5469
5	30	0,2698	0,2704	0,2701	27,01	14,62	14,66	14,64	0,0128	0,0127	0,01275	27,01	29,6917
6	15	0,1868	0,1868	0,1868	18,68	9,92	9,92	9,92	0,0074	0,0074	0,0074	18,68	26,0225
6	30	0,2469	0,2469	0,2469	24,69	13,22	13,22	13,22	0,0043	0,0043	0,0043	24,69	28,7143
7	15	0,2315	0,2315	0,2315	23,15	12,33	12,33	12,33	0,031	0,031	0,031	23,15	28,2474
7	30	0,2685	0,2685	0,2685	26,85	14,54	14,54	14,54	0,0321	0,0321	0,0321	26,85	29,6017
8	15	0,1503	0,1504	0,15035	15,035	8,13	8,13	8,13	0,0096	0,0096	0,0096	15,035	21,9084
8	30	0,2199	0,2202	0,22005	22,005	11,68	11,7	11,69	0,0054	0,0055	0,00545	22,005	27,8638
9	15	0,2249	0,2256	0,22525	22,525	11,96	12	11,98	0,0452	0,0459	0,04555	22,525	28,0477
9	30	0,2606	0,2611	0,26085	26,085	14,05	14,08	14,065	0,0325	0,0391	0,0358	26,085	29,2273
10	15	0,2004	0,2005	0,20045	20,045	10,63	10,63	10,63	0,0492	0,0497	0,04945	20,045	26,9507
10	30	0,2343	0,235	0,23465	23,465	12,49	12,53	12,51	0,0595	0,0598	0,05965	23,465	28,3439
11	15	0,2317	0,2322	0,23195	23,195	12,34	12,37	12,355	0,0503	0,0507	0,0505	23,195	28,2610
11	30	0,2503	0,2519	0,2511	25,11	13,43	13,52	13,475	0,0451	0,0457	0,0454	25,11	28,8550
12	15	0,1743	0,1739	0,1741	17,41	9,29	9,27	9,28	0,0175	0,017	0,01725	17,41	24,8837
12	30	0,2274	0,2281	0,22775	22,775	12,1	12,14	12,12	0,0087	0,0085	0,0086	22,775	28,1300
13	15	0,1649	0,1628	0,16385	16,385	8,83	8,73	8,78	0,0318	0,0313	0,03155	16,385	23,7518

Amostra	Prof.	Wct	WctM	WctM %	Kb	KbM	Ec	EcM	WctM %		Wct Calibrado	Topp	
		1a	2a			1a	2a		1a	2a			
13	30	0,1944	0,1946	0,1945	19,45	10,31	10,32	10,315	0,0264	0,0271	0,02675	19,45	26,5772
14	15	0,1742	0,1748	0,1745	17,45	9,29	9,32	9,305	0,0249	0,0248	0,02485	17,45	24,9344
14	30	0,2026	0,2028	0,2027	20,27	10,74	10,76	10,75	0,0209	0,021	0,02095	20,27	27,0787
15	15	0,1422	0,1423	0,14225	14,225	7,75	7,75	7,75	0,02	0,0203	0,02015	14,225	20,6117
15	30	0,1659	0,169	0,16745	16,745	8,88	9,03	8,955	0,0248	0,0249	0,02485	16,745	24,1743
16	15	0,226	0,2255	0,22575	22,575	12,02	11,99	12,005	0,0519	0,0522	0,05205	22,575	28,0627
16	30	0,2197	0,2207	0,2202	22,02	11,67	11,73	11,7	0,0377	0,0377	0,0377	22,02	27,8705
17	15	0,1298	0,1296	0,1297	12,97	7,18	7,17	7,175	0,0074	0,0079	0,00765	12,97	18,3064
17	30	0,1602	0,1608	0,1605	16,05	8,6	8,63	8,615	0,0061	0,0064	0,00625	16,05	23,3258
18	15	0,2015	0,2028	0,20215	20,215	10,69	10,75	10,72	0,0198	0,0199	0,01985	20,215	27,0474
18	30	0,2177	0,2182	0,21795	21,795	11,56	11,59	11,575	0,0472	0,0476	0,0474	21,795	27,7848
19	15	0,1622	0,1609	0,16155	16,155	8,7	8,63	8,665	0,0077	0,0078	0,00775	16,155	23,4578
19	30	0,1765	0,1768	0,17665	17,665	9,4	9,42	9,41	0,0038	0,0046	0,0042	17,665	25,1415
20	15	0,1939	0,1942	0,19405	19,405	10,29	10,3	10,295	0,00245	0,00248	0,002465	19,405	26,5515
20	30	0,1761	0,1748	0,17545	17,545	9,38	9,32	9,35	0,0059	0,006	0,00595	17,545	25,0243
21	15	0,1317	0,132	0,13185	13,185	7,26	7,27	7,265	0,0051	0,0046	0,00485	13,185	18,6960
21	30	0,1412	0,1442	0,1427	14,27	7,7	7,84	7,77	0,0003	0,0003	0,0003	14,27	20,6842
22	15	0,1311	0,1252	0,12815	12,815	7,24	9,97	8,605	0,009	0,0088	0,0089	12,815	23,2991
22	30	0,1393	0,1392	0,13925	13,925	7,61	7,61	7,61	0,003	0,0031	0,00305	13,925	20,0897
23	15	0,2723	0,2727	0,2725	27,25	14,78	14,8	14,79	0,059	0,0591	0,05905	27,25	29,8352
23	30	0,2615	0,2623	0,2619	26,19	14,1	14,16	14,13	0,0423	0,0424	0,04235	26,19	29,2739
24	15	0,1738	0,1756	0,1747	17,47	9,27	9,36	9,315	0,0127	0,0124	0,01255	17,47	24,9545
24	30	0,1724	0,1726	0,1725	17,25	9,2	9,21	9,205	0,003	0,0031	0,00305	17,25	24,7284

Quadro 24 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons.

Sonda de Nêutrons									
Amostra	Prof.	1 ^a	2 ^a	Ar	Ar	Fator Temp. Médio	Leitura Média	CR	Theta
1	15	7946	8175	6530	6650	6590	8060,50	1,2231	22,2869
1	30	8414	11512	6530	6650	6590	9963,00	1,5118	23,5029
2	15	8376	8442	6530	6650	6590	8409,00	1,2760	22,5097
2	30	10790	11148	6530	6650	6590	10969,00	1,6645	24,1459
3	15	7360	7486	6530	6650	6590	7423,00	1,1264	21,8795
3	30	11480	11202	6530	6650	6590	11341,00	1,7209	24,3836
4	15	8334	8354	6530	6650	6590	8344,00	1,2662	22,4681
4	30	11695	11643	6530	6650	6590	11669,00	1,7707	24,5933
5	15	7755	7758	6530	6650	6590	7756,50	1,1770	22,0926
5	30	11409	11320	6530	6650	6590	11364,50	1,7245	24,3987
6	15	8121	8223	6530	6650	6590	8172,00	1,2401	22,3582
6	30	11152	11122	6530	6650	6590	11137,00	1,6900	24,2532
7	15	6895	6893	6530	6650	6590	6894,00	1,0461	21,5414
7	30	11055	10924	6530	6650	6590	10989,50	1,6676	24,1590
8	15	8563	8810	6683	6981	6832	8686,50	1,2714	22,4904
8	30	11556	11438	6683	6981	6832	11497,00	1,6828	24,2231
9	15	7657	7619	6683	6981	6832	7638,00	1,1180	21,8440
9	30	11448	11307	6683	6981	6832	11377,50	1,6653	24,1494
10	15	7865	7874	6683	6981	6832	7869,50	1,1519	21,9867
10	30	11386	11486	6683	6981	6832	11436,00	1,6739	24,1854
11	15	8257	8244	6683	6981	6832	8250,50	1,2076	22,2216
11	30	11355	11298	6683	6981	6832	11326,50	1,6579	24,1179
12	15	7215	7414	6683	6981	6832	7314,50	1,0706	21,6445
12	30	11410	11446	6683	6981	6832	11428,00	1,6727	24,1805
13	15	8469	8312	6683	6981	6832	8390,50	1,2281	22,3079

Sonda de Nêutrons										
Amostra	Prof.	1a	2a	Ar	Ar	Fator	Temp. Médio	Leitura Média	CR	Theta
13	30	10860	10640	6683	6981	6832		10750,00	1,5735	23,7625
14	15	8509	8309	6683	6981	6832		8409,00	1,2308	22,3193
14	30	10481	10989	6683	6981	6832		10735,00	1,5713	23,7533
15	15	7986	7992	6683	6981	6832		7989,00	1,1694	22,0604
15	30	11576	11597	6683	6981	6832		11586,50	1,6959	24,2782
16	15	6909	6894	6683	6981	6832		6901,50	1,0102	21,3899
16	30	11219	11936	6683	6981	6832		11577,50	1,6946	24,2727
17	15	6709	6297	6683	6981	6832		6503,00	0,9518	21,1442
17	30	10261	10115	6683	6981	6832		10188,00	1,4912	23,4160
18	15	10000	7114	6683	6981	6832		8557,00	1,2525	22,4105
18	30	11332	11353	6683	6981	6832		11342,50	1,6602	24,1278
19	15	7101	6982	6683	6981	6832		7041,50	1,0307	21,4762
19	30	11212	10953	6683	6981	6832		11082,50	1,6221	23,9675
20	15	7373	7160	6683	6981	6832		7266,50	1,0636	21,6149
20	30	10291	10146	6683	6981	6832		10218,50	1,4957	23,4349
21	15	7668	7576	6683	6981	6832		7622,00	1,1156	21,8341
21	30	10956	10792	6683	6981	6832		10874,00	1,5916	23,8390
22	15	6497	6540	6683	6981	6832		6518,50	0,9541	21,1538
22	30	10912	11163	6683	6981	6832		11037,50	1,6156	23,9398
23	15	7710	7652	6683	6981	6832		7681,00	1,1243	21,8705
23	30	10410	10403	6683	6981	6832		10406,50	1,5232	23,5508
24	15	8288	7962	6683	6981	6832		8125,00	1,1893	22,1442
24	30	10570	10485	6683	6981	6832		10527,50	1,5409	23,6254

6 Solo Latossolo Vermelho Distroférrico

Quadro 25 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água									
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%	
1	15	320	88,91	81,01	28,81	7,90	52,2	15,13	
1	30	406	78,26	71,46	28,41	6,80	43,05	15,80	
2	15	294	75,89	69,94	29,38	5,95	40,56	14,67	
2	30	322	80,22	73,06	28,88	7,16	44,18	16,21	
3	15	180	86,13	77,91	28,53	8,22	49,38	16,65	
3	30	295	66,54	60,95	29,2	5,59	31,75	17,61	
4	15	109	82	73,21	29,11	8,79	44,1	19,93	
4	30	125	68,93	63,83	29,59	5,10	34,24	14,89	
5	15	198	85,95	75,3	28,8	10,65	46,5	22,90	
5	30	387	79,95	71,99	29,56	7,96	42,43	18,76	
6	15	301	81,12	74,74	29,7	6,38	45,04	14,17	
6	30	415	69,5	63,64	29,05	5,86	34,59	16,94	
7	15	124	73,36	67,58	28,82	5,78	38,76	14,91	
7	30	178	84,27	76,78	29,19	7,49	47,59	15,74	
8	15	113	65,5	60,08	26,81	5,42	33,27	16,29	
8	30	330	81,94	73,53	29,3	8,41	44,23	19,01	
9	15	98	68,38	63,29	30,01	5,09	33,28	15,29	
9	30	506	66,48	59,74	26,91	6,74	32,83	20,53	
10	15	165	75,71	69,74	28,81	5,97	40,93	14,59	
10	30	285	71,54	65,77	29,83	5,77	35,94	16,05	

Quadro 26 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado.

Amostra	Prof.	TDR											Wct Calibrado
		Wct		WctM	WctM %	Kb			KbM	Ec		WctM % Topp	
		1a	2a			1a	2a	1a		2a			
1	15	0,0948	0,0945	0,09465	9,465	5,63	5,62	5,625	-0,0026	-0,0025	-0,00255	9,465	15,1066
1	30	0,1352	0,1355	0,13535	13,535	7,42	7,44	7,43	-0,0037	-0,0029	-0,0033	13,535	19,7240
2	15	0,101	0,1002	0,1006	10,06	5,9	5,87	5,885	-0,0021	-0,0022	-0,00215	10,06	15,7020
2	30	0,105	0,1046	0,1048	10,48	6,07	6,05	6,06	-0,0042	-0,0039	-0,00405	10,48	16,1298
3	15	0,1129	0,1115	0,1122	11,22	6,42	6,36	6,39	-0,0032	-0,0029	-0,00305	11,22	16,9788
3	30	0,0964	0,096	0,0962	9,62	5,7	5,68	5,69	0,0029	0,0026	0,00275	9,62	15,2503
4	15	0,1244	0,1248	0,1246	12,46	6,95	6,93	6,94	0,0027	0,0031	0,0029	12,46	18,4490
4	30	0,1627	0,1634	0,16305	16,305	8,72	8,75	8,735	0,0023	0,0027	0,0025	16,305	22,2290
5	15	0,1039	0,1032	0,10355	10,355	6,02	6	6,01	0,0033	0,0039	0,0036	10,355	16,0056
5	30	0,1548	0,155	0,1549	15,49	8,34	8,35	8,345	0,0001	0,0009	0,0005	15,49	21,6827
6	15	0,0939	0,0936	0,09375	9,375	5,59	5,58	5,585	-0,0033	-0,0031	-0,0032	9,375	15,0201
6	30	0,1107	0,1113	0,111	11,1	6,32	6,35	6,335	-0,0026	-0,0024	-0,0025	11,1	16,8344
7	15	0,0839	0,0846	0,08425	8,425	5,17	5,2	5,185	-0,0018	-0,002	-0,0019	8,425	14,2446
7	30	0,0958	0,0964	0,0961	9,61	5,68	5,7	5,69	-0,0022	-0,0025	-0,00235	9,61	15,2503
8	15	0,1079	0,1081	0,108	10,8	6,2	6,21	6,205	-0,001	-0,0008	-0,0009	10,8	16,4972
8	30	0,1152	0,1148	0,115	11,5	6,52	6,5	6,51	-0,0047	-0,0044	-0,00455	11,5	17,2968
9	15	0,0925	0,0917	0,0921	9,21	5,54	5,5	5,52	0,006	0,0065	0,00625	9,21	14,8826
9	30	0,1037	0,1041	0,1039	10,39	6,01	6,03	6,02	-0,0022	-0,0021	-0,00215	10,39	16,0303
10	15	0,0817	0,082	0,08185	8,185	5,08	5,09	5,085	-0,0047	-0,0038	-0,00425	8,185	14,0799
10	30	0,1266	0,1265	0,12655	12,655	7,03	7,03	7,03	-0,0039	-0,004	-0,00395	12,655	18,6887

Quadro 27 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons.

Sonda de Nêutrons							Fator Temp. Médio	6566
Amostra	Prof.	Ar	6591	6541			CR	Theta
		1a	2a	3a	4a	Média		
1	15	6698	6663	6646	6616	6655,75	1,0137	18,1282
1	30	10066	10151	10081	10199	10124,25	1,5419	26,6970
2	15	5229	5748	5764	5754	5623,75	0,8565	15,5787
2	30	8421	8506	8528	8633	8522,00	1,2979	22,7387
3	15	6323	6403	6403	6471	6400,00	0,9747	17,4964
3	30	9690	9626	9671	9747	9683,50	1,4748	25,6082
4	15	6159	6130	6066	6269	6156,00	0,9376	16,8936
4	30	10088	10006	10206	10235	10133,75	1,5434	26,7205
5	15	6200	6086	6102	6245	6158,25	0,9379	16,8991
5	30	10427	10474	10513	10609	10505,75	1,6000	27,6395
6	15	4588	4458	4582	4542	4542,50	0,6918	12,9075
6	30	9366	9337	9107	9371	9295,25	1,4157	24,6490
7	15	5609	5565	5665	5705	5636,00	0,8584	15,6089
7	30	9536	9437	9492	9436	9475,25	1,4431	25,0937
8	15	6004	5947	5910	5929	5947,50	0,9058	16,3785
8	30	10342	10275	10153	10229	10249,75	1,5610	27,0071
9	15	5321	5294	5324	5334	5318,25	0,8100	14,8239
9	30	10162	10198	10080	10202	10160,50	1,5474	26,7866
10	15	4709	4524	4409	4515	4539,25	0,6913	12,8994
10	30	9243	9236	9232	9134	9211,25	1,4029	24,4415

7 Solo Latossolo Vermelho Eutrófico

Quadro 28 - Determinação do teor de água pelo método Gravimétrico.

Cálculo do Teor de Água									
Amostra	Prof.	Nº Lata	P.Úmido+Lata	P.Seco+Lata	Peso Lata	PÚ-PS	Peso Seco	Umidade%	
1	15	198	42,67	41,13	28,8	1,54	12,33	12,49	
1	30	294	51,24	48,81	29,36	2,43	19,45	12,49	
2	15	322	55,23	53,31	28,87	1,92	24,44	7,86	
2	30	406	58,77	55,38	28,41	3,39	26,97	12,57	
3	15	124	55,6	52,97	28,79	2,63	24,18	10,88	
3	30	180	52,5	49,99	28,54	2,51	21,45	11,70	
4	15	326	55,65	52,45	30,24	3,20	22,21	14,41	
4	30	506	55,1	51,45	26,84	3,65	24,61	14,83	
5	15	178	58,81	53,31	29,14	5,50	24,17	22,76	
5	30	387	52,75	50,11	29,58	2,64	20,53	12,86	
6	15	285	55,08	52,31	29,82	2,77	22,49	12,32	
6	30	301	59,17	55,71	29,63	3,46	26,08	13,27	
7	15	295	53,24	49,9	29,27	3,34	20,63	16,19	
7	30	503	60,86	55,89	25,86	4,97	30,03	16,55	
8	15	98	48,79	46,66	29,98	2,13	16,68	12,77	
8	30	320	52,1	49,51	28,82	2,59	20,69	12,52	
9	15	125	54,38	50,74	29,52	3,64	21,22	17,15	
9	30	165	61,46	56,9	28,77	4,56	28,13	16,21	
10	15	109	51,36	48,93	29,08	2,43	19,85	12,24	
10	30	415	57,24	54,32	29,01	2,92	25,31	11,54	

Quadro 29 - Determinação do teor de água pelo método TDR calibrado segundo modelos de Topp e Calibrado.

Amostra	Prof.	TDR											
		Wct		WctM	WctM %	Kb		KbM	Ec		EcM	WctM %	Wct Calibrado
		1a	2a			1a	2a		1a	2a		Topp	
1	15	0,0935	0,0934	0,09345	9,345	5,58	5,58	5,58	0,0018	0,0018	0,0018	9,345	11,6620
1	30	0,1206	0,1214	0,121	12,1	6,76	6,8	6,78	-0,0017	-0,0016	-0,00165	12,1	12,6515
2	15	0,1085	0,1087	0,1086	10,86	6,23	6,23	6,23	-0,0008	-0,0004	-0,0006	10,86	12,7400
2	30	0,0979	0,098	0,09795	9,795	5,76	5,77	5,765	-0,0065	-0,0065	-0,0065	9,795	12,2292
3	15	0,1422	0,1425	0,14235	14,235	7,75	7,76	7,755	0,0138	0,131	0,0724	14,235	15,0545
3	30	0,0933	0,0867	0,09	9	5,57	5,29	5,43	-0,0004	-0,0019	-0,00115	9	10,9902
4	15	0,0808	0,0802	0,0805	8,05	5,04	5,02	5,03	-0,0008	-0,0003	-0,00055	8,05	8,0300
4	30	0,0967	0,0952	0,09595	9,595	5,71	5,65	5,68	-0,003	-0,0029	-0,00295	9,595	12,0013
5	15	0,1337	0,1334	0,13355	13,355	7,35	7,34	7,345	0,0055	0,0054	0,00545	13,355	13,2607
5	30	0,0913	0,0915	0,0914	9,14	5,48	5,49	5,485	-0,0067	-0,0065	-0,0066	9,14	11,2607
6	15	0,1513	0,1517	0,1515	15,15	8,18	8,2	8,19	0,014	0,0142	0,0141	15,15	18,9720
6	30	0,1555	0,157	0,15625	15,625	8,37	8,45	8,41	0,0001	0,0002	0,00015	15,625	21,9713
7	15	0,134	0,1342	0,1341	13,41	7,37	7,38	7,375	0,0029	0,003	0,00295	13,41	13,3434
7	30	0,1324	0,133	0,1327	13,27	7,29	7,32	7,305	-0,0049	-0,0043	-0,0046	13,27	13,1607
8	15	0,1146	0,1151	0,11485	11,485	6,5	6,52	6,51	0,0087	0,0084	0,00855	11,485	12,7049
8	30	0,1445	0,1451	0,1448	14,48	7,85	7,88	7,865	-0,0001	-0,0001	-0,0001	14,48	15,8215
9	15	0,1459	0,1458	0,14585	14,585	7,92	7,92	7,92	0,0063	0,0062	0,00625	14,585	16,2582
9	30	0,1441	0,1443	0,1442	14,42	7,83	7,85	7,84	-0,0011	-0,0007	-0,0009	14,42	15,6350
10	15	0,1317	0,1321	0,1319	13,19	7,26	7,28	7,27	-0,0005	0,0001	-0,0002	13,19	13,0822
10	30	0,1275	0,1274	0,12745	12,745	7,07	7,07	7,07	-0,0047	-0,0045	-0,0046	12,745	12,7759

Quadro 30 - Determinação do teor de água pelo método da sonda de nêutrons.

Sonda de Nêutrons								
Amostra	Prof.	Ar	6561	6672	Médio	6616,5		
		1a	2a	3a	4a	Média	CR	Theta
1	15	4840	4896	4927	4882	4886,25	0,7385	16,4067
1	30	8286	8288	8104	8247	8231,25	1,2440	24,9544
2	15	5118	6071	5071	5016	5319,00	0,8039	17,5125
2	30	7902	7982	8019	7953	7964,00	1,2037	24,2715
3	15	4213	4388	4288	4388	4319,25	0,6528	14,9577
3	30	8479	8354	8246	8265	8336,00	1,2599	25,2221
4	15	5364	5363	5465	5474	5416,50	0,8186	17,7617
4	30	7756	7742	7799	7588	7721,25	1,1670	23,6512
5	15	4489	4537	4520	4514	4515,00	0,6824	15,4580
5	30	8218	8168	8120	8239	8186,25	1,2372	24,8394
6	15	4308	4200	4194	4165	4216,75	0,6373	14,6958
6	30	7315	7180	7390	7372	7314,25	1,1055	22,6111
7	15	4734	4725	4615	4572	4661,50	0,7045	15,8323
7	30	8229	8234	8336	8169	8242,00	1,2457	24,9819
8	15	4836	4987	4937	4903	4915,75	0,7430	16,4820
8	30	7664	7834	7785	7736	7754,75	1,1720	23,7368
9	15	4061	4019	4253	4250	4145,75	0,6266	14,5144
9	30	7669	7679	7793	7787	7732,00	1,1686	23,6787
10	15	4161	4087	4128	4176	4138,00	0,6254	14,4946
10	30	7473	7356	7348	7440	7404,25	1,1191	22,8411

APÊNDICE II
CURVAS DE CALIBRAÇÃO PARA O TDR

APÊNDICE II

1 Curva de Calibração e Regressão para o solo 1: Neossolo Flúvico

Parameter	Value	Error
A	-88,5062	25,21601
B1	32,16493	8,51869
B2	-3,42878	0,94894
B3	0,12435	0,03486

R-Square(COD)	SD	N	P
0,98017	0,21107	17	<0.0001

$$\theta = -88,50622 + 32,16493 * K_b - 3,42878 * K_b^2 + 0,12435 * K_b^3 \quad (13)$$

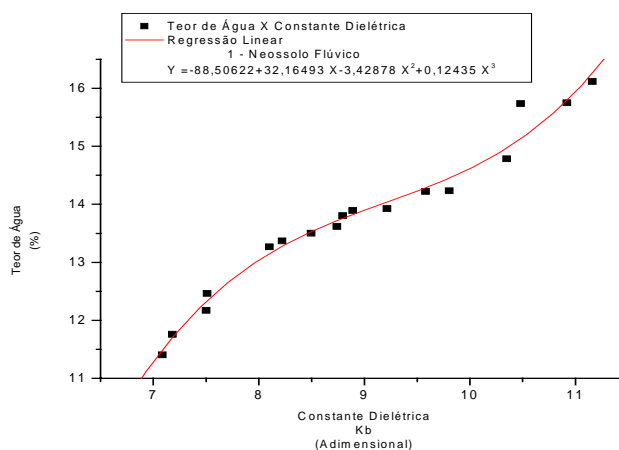


Figura 23 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Neossolo Flúvico.

2 Curva de Calibração e Regressão para o solo 2: Nitossolo Vermelho Distroférico

[7/9/2004 21:45 "/Graph1" (2453255)]

Polynomial Regression for DATA1_A:

$$Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$$

Parameter	Value	Error
A	-239,282	45,41948
B1	51,0217	8,95502
B2	-3,26552	0,57799
B3	0,06959	0,01221

R-Square(COD)	SD	N	P
0,93566	0,96927	20	<0.0001

$$\theta = -239,28227 + 51,0217 * K_b - 3,26552 * K_b^2 + 0,06959 * K_b^3 \quad (14)$$

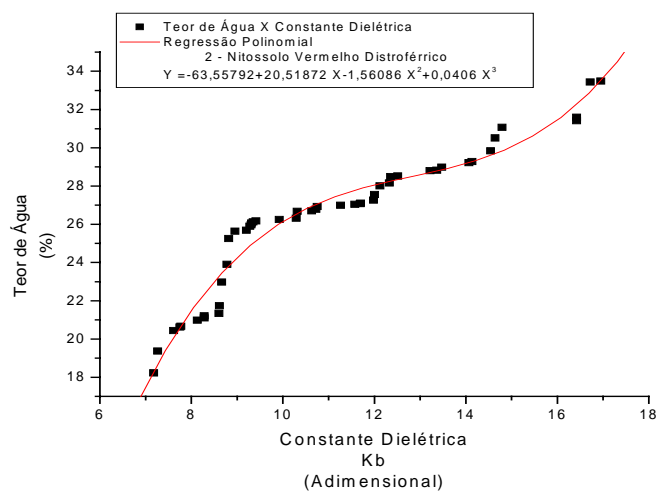


Figura 24 - Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.

3 Curva de Calibração e Regressão para o solo 3: Neossolo Quartzarênico

[7/9/2004 20:36 "/Graph1" (2453255)]
 Polynomial Regression for DATA1_A:
 $Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$

Parameter	Value	Error
A	-15,7665	25,19479
B1	19,01571	21,39923
B2	-6,8075	5,95477
B3	0,87006	0,54135

R-Square(COD)	SD	N	P
0,96054	0,72219	20	<0.0001

$$\theta = -15,7665 + 19,01571 * K_b - 6,8075 * K_b^2 + 0,87006 * K_b^3 \quad (15)$$

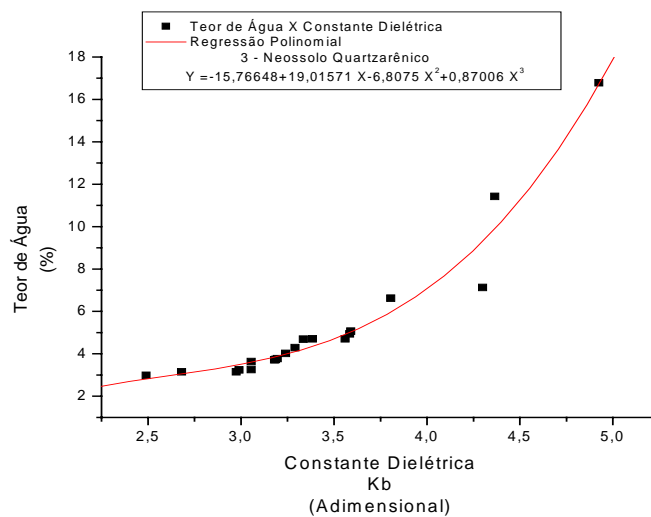


Figura 25 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Neossolo Quartzarênico.

4 Curva de Calibração e Regressão para o solo 4: Latossolo Vermelho Distrófico

[7/9/2004 21:07 "/Graph1" (2453255)]

Polynomial Regression for DATA1_A:

$$Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$$

Parameter	Value	Error
A	-97,156	27,18268
B1	46,71409	11,07958
B2	-6,68013	1,46497
B3	0,32034	0,06307

R-Square(COD)	SD	N	P
0,94869	0,94196	20	<0.0001

$$\theta = -97,15597 + 46,71409 * K_b - 6,68013 * K_b^2 + 0,32034 * K_b^3 \quad (16)$$

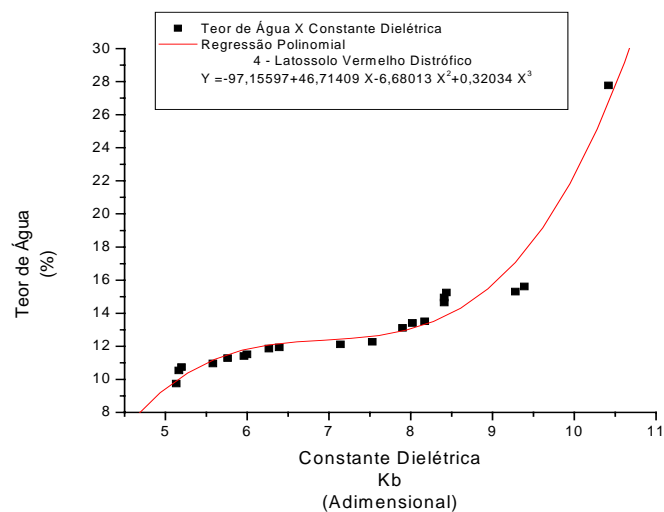


Figura 26 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Distrófico.

5 Curva de Calibração e Regressão para o solo 5: Nitossolo Vermelho Distroférico

[7/9/2004 21:19 "/Graph1" (2453255)]
 Polynomial Regression for DATA1_A:
 $Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$

Parameter	Value	Error
A	-63,5579	10,02608
B1	20,51872	2,65575
B2	-1,56086	0,2271
B3	0,0406	0,00628

R-Square(COD)	SD	N	P
0,95393	0,80959	48	<0.0001

$$\theta = -63,55792 + 20,51872 * K_b - 1,56086 * K_b^2 + 0,0406 * K_b^3 \quad (17)$$

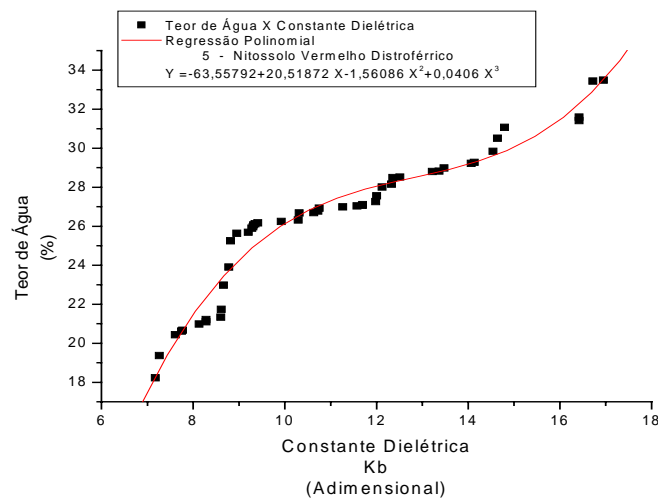


Figura 27 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.

6 Curva de Calibração e Regressão para o solo 6: Latossolo Vermelho Distroférico

[7/9/2004 21:55 "/Graph1" (2453255)]
 Polynomial Regression for DATA1_A:
 $Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$

Parameter	Value	Error		
A	40,6828	28,65961		
B1	-15,4836	12,944		
B2	2,69231	1,92249		
B3	-0,13298	0,09375		
R-Square(COD)	SD	N	P	
0,97563	0,39477	20	<0.0001	

$$\theta = 40,6828 - 15,48355 * Kb + 2,69231 * Kb^2 - 0,13298 * Kb^3 \quad (18)$$

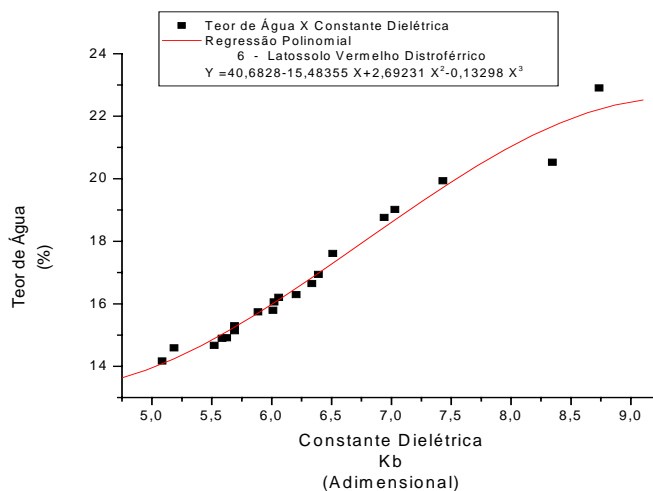


Figura 28 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Distroférico.

7 Curva de Calibração e Regressão para o solo 7: Latossolo Vermelho Eutrófico

[7/9/2004 20:51 "/Graph1" (2453255)]

Polynomial Regression for DATA1_A:

$$Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3$$

Parameter	Value	Error
A	-401,1372	51,82069
B1	190,4996	23,42663
B2	-29,18799	3,48883
B3	1,48854	0,17137

R-Square(COD)	SD	N	P
0,96533	0,62194	20	<0.0001

$$\theta = -401,13721 + 190,49956 * K_b - 29,18799 * K_b^2 + 1,48854 * K_b^3 \quad (19)$$

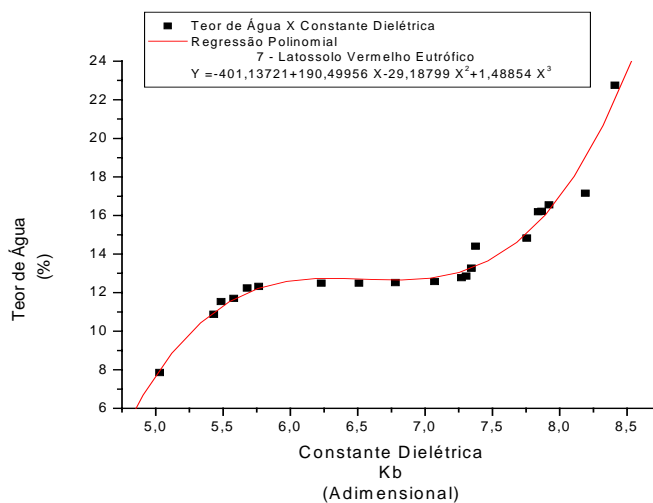


Figura 29 – Regressão polinomial cúbica obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da constante dielétrica para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico.

APÊNDICE III

CURVAS DE CALIBRAÇÃO PARA A SONDA DE NÊUTRONS

APÊNDICE III

1 Curva de Calibração e Regressão para o solo 1: Neossolo Flúvico

[7/9/2004 17:10 "/Graph1" (2453255)]

Linear Regression for Data1_B:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error		
A	12,30436	0,24091		
B	1,61086	0,18547		
R^2	SD	N	P	
0,871	0,25048	26	<0.0001	

$$\theta = 12,30436 + 1,61086 * CR \quad (20)$$

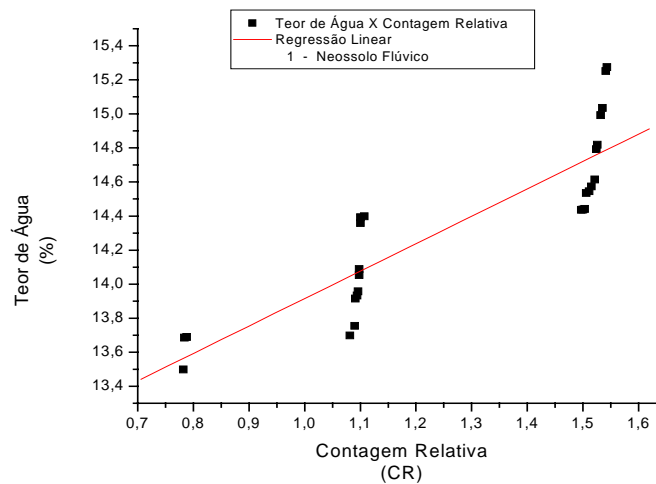


Figura 30 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Neossolo Flúvico.

2 Curva e Regressão para o solo 2: Nitossolo Vermelho Distroférico

[3/9/2004 00:05 "/Graph1" (2453251)]

Linear Regression for Data1_A:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error		
A	21,06762	0,85542		
B	11,97983	0,51552		
R ²	SD	N	P	
0,98286	0,98634	21	<0.0001	

$$\theta = 21,06762 + 11,97983 * CR \quad (21)$$

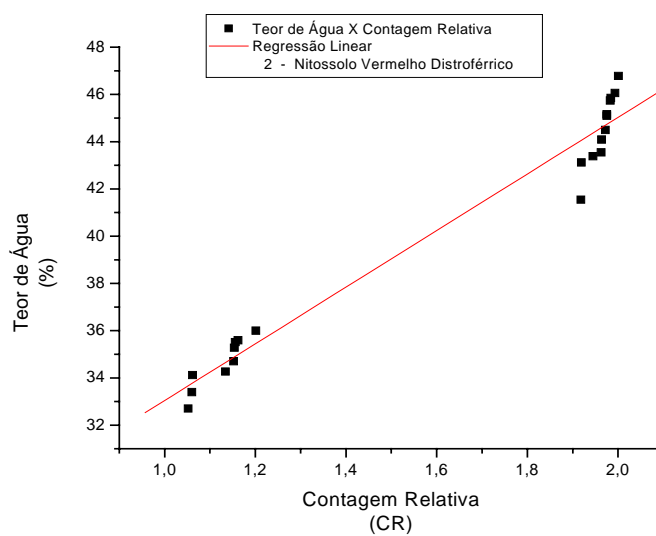


Figura 31 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.

3 Curva de Calibração e Regressão para o solo 3: Neossolo Quartzarênico

[3/9/2004 20:23 "/Graph1" (2453251)]

Linear Regression for Data1_B:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error		
A	-5,70265	1,18033		
B	21,50116	1,28918		
R^2	SD	N	P	
0,95318	0,96703	30	<0.0001	

$$\theta = -5,70265 + 21,50116 * CR \quad (22)$$

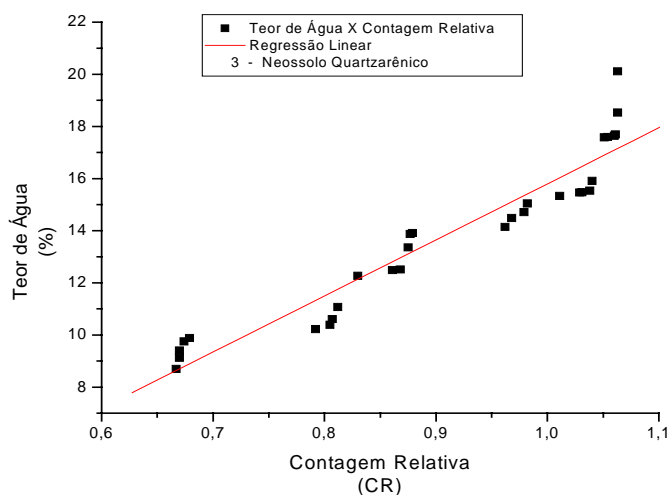


Figura 32 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Neossolo Quartzarênico.

4 Curva de Calibração e Regressão para o solo 4: Latossolo Vermelho Distrófico

[2/9/2004 20:54 "/Graph1" (2453250)]

Linear Regression for Data1_A:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	12,56228	0,16816
B	2,08574	0,11689

R ²	SD	N	P
0,94919	0,18824	37	<0.0001

$$\theta = 12,56228 + 2,08574 * CR \quad (23)$$

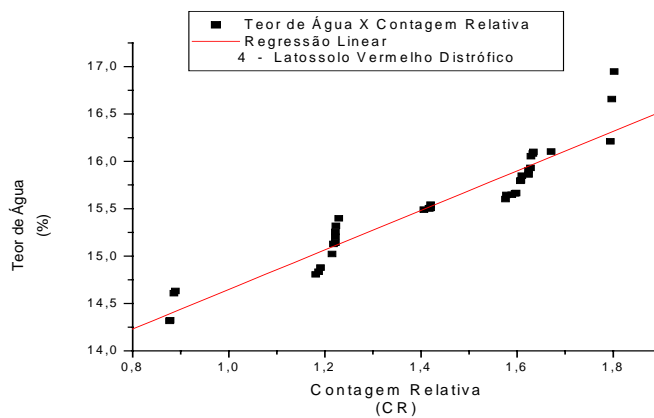


Figura 33 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Distrófico.

5 Curva de Calibração e Regressão para o solo 5: Nitossolo Vermelho Distroférico

[4/9/2004 11:19 "/Graph1" (2453252)]

Linear Regression for Data1_B:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	17,1351	0,69045
B	4,21196	0,52854

R ²	SD	N	P
0,92949	0,3254712		<0.0001

$$\theta = 17,1351 + 4,21196 * CR \quad (24)$$

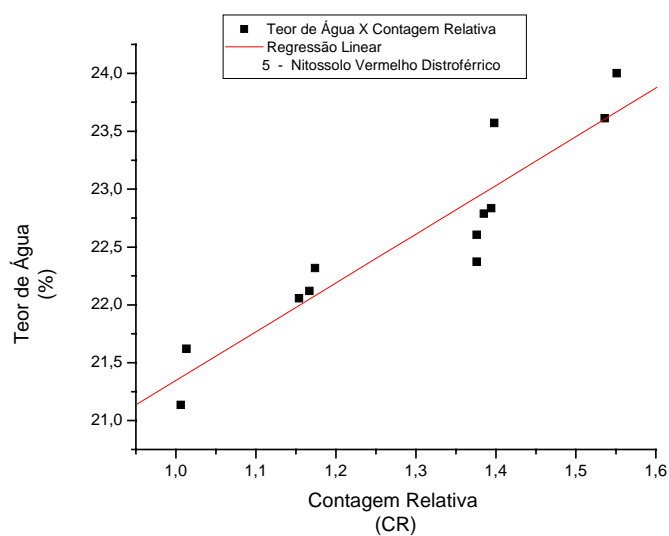


Figura 34 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Nitossolo Vermelho Distroférico.

6 Curva de Calibração e Regressão para o solo 6: Latossolo Vermelho Distroférico

[3/9/2004 00:29 "/Graph1" (2453251)]

Linear Regression for Data1_B:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	1,68535	0,44493
B	16,22113	0,37873

R ²	SD	N	P
0,99594	0,25591	17	<0.0001

$$\theta = 1,68535 + 16,22113 * CR \quad (25)$$

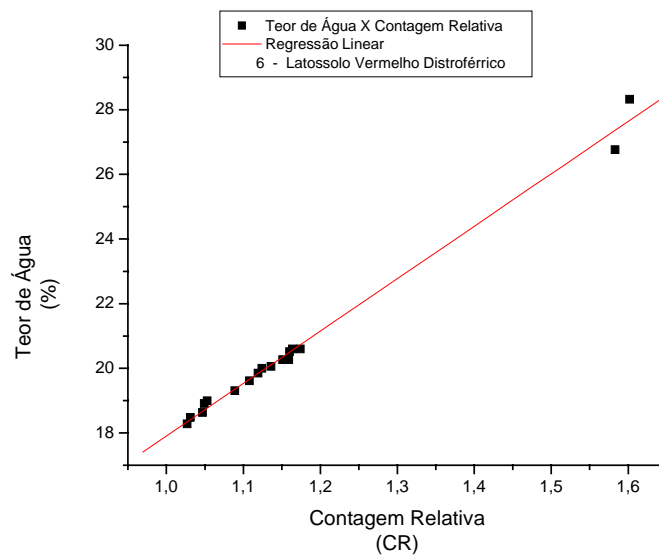


Figura 35 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Distroférico.

7 Curva de Calibração e Regressão para o solo 7: Latossolo Vermelho Eutrófico

[2/9/2004 22:04 "/Graph1" (2453250)]

Linear Regression for Data1_A:

$Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error		
A	3,92038	1,89899		
B	16,90774	1,87108		
R ²	SD	N	P	
0,90519	2,18916	20	<0.0001	

$$\theta = 3,92038 + 16,90774 * CR \quad (26)$$

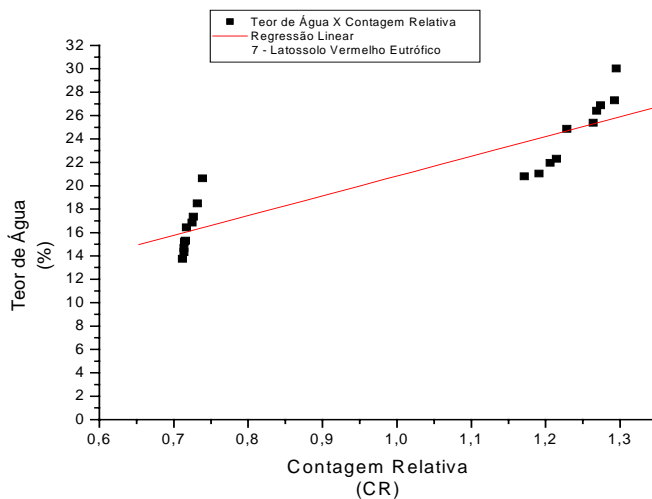


Figura 36 – Regressão linear obtida com o software Microcal Origin 6.0 e gráfico do teor de água em função da contagem relativa (CR) para o solo Latossolo Vermelho Eutrófico.