

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**LIMITE SUPERIOR DA RETENÇÃO DA ÁGUA NO
SOLO: MÉTODO DE CAMPO E MÉTODO DE
ESTIMATIVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alexandro Luiz Vielmo

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**LIMITE SUPERIOR DA RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO:
MÉTODO DE CAMPO E MÉTODO DE ESTIMATIVA**

por

Alexandro Luiz Vielmo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau
Mestre em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

Vielmo, Alexandro Luiz, 1979-

V661I

Limite superior da retenção da água no solo : método de campo e método de estimativa / por Alexandro Luiz Vielmo ; orientador Adroaldo Dias Robaina. – Santa Maria, 2008.

81 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2008.

1. Engenharia agrícola 2. Retenção de água no solo 3. Capacidade de campo 4. Irrigação I. Robaina, Adroaldo Dias, orient. II. Título

CDU: 631.67

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Alexandro Luiz Vielmo e Adroaldo Dias Robaina. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho poderá ser feita, desde que citada a fonte.

Endereço: Rua Francklim Bittencourt Filho, 301, Ap. 201, Camobi, Santa Maria, RS, Brasil.

97105-150; End. Eletrônico: alexandrovielmo@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora , abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**LIMITE SUPERIOR DA RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO:
MÉTODO DE CAMPO E MÉTODO DE ESTIMATIVA.**

elaborada por
Alexandro Luiz Vielmo

como requisito parcial para a obtenção de grau de

Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Adroaldo Dias Robaina, Dr.
(Presidente / Orientador)**

Marcia Xavier Peiter, Dra., (UFSM)

Rudiney Soares Pereira, Dr., (UFSM)

Santa Maria, 01 de fevereiro de 2008.

OFEREÇO

A DEUS, por tudo o que tens feito e pelo que vais fazer. Por ter renovado as minhas forças me capacitando para enfrentar todos os obstáculos e atingir os objetivos com mansidão e sabedoria.

Graças Senhor!

A minha esposa Carine Pivoto Vielmo, pelo Amor, Amizade, Caráter, Compreensão, Confiança, Dedicção, Incentivo em todos os momentos em que passamos juntos. E por você ser uma mulher virtuosa e sábia mesmo nos momentos difíceis desta nossa abençoada caminhada.

Obrigado Querida!

DEDICO

A meus pais Antonio J. Vielmo e Celezia Minosso Vielmo, que depositaram sua confiança em mim e desde muito cedo estiveram abrindo portas para que eu pudesse passar e atingir os meus objetivos, mesmo que para isto os seus sonhos fossem deixados em segundo plano.

Que Deus continue lhes abençoando!

A meus irmãos Lucia, Nilton e Cleomar que sempre me incentivaram muito e acreditaram em mim, apostando na conquista dos objetivos, que estavam muito distante, mas com a ajuda de vocês conseguimos juntos vencer mais esta batalha.

Que Deus lhes Recompense por tudo!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade concedida.

Ao Professor e orientador Adroaldo Dias Robaina, pela oportunidade oferecida, pela dedicação e ensinamentos científicos e pelo seu caráter elogiável com que nos direcionou neste período.

À Professora Márcia Xavier Peiter, pela amizade, ensinamentos e oportunidades oferecidas.

Aos meus familiares pelo apoio, carinho e confiança em todos os momentos de minha vida.

À Empresa Fockink, nas pessoas de Ivan Wegener, Roberto Wegener e Ricardo Luis Schons, pelo apoio e confiança indispensáveis para o ingresso no Mestrado.

À Empresa Brilhante Jóias, na pessoa da diretora Maria Lucia Vielmo Stanguerlin, por investir em mim, criando meios inclusive financeiros para realização deste trabalho.

Um agradecimento especial à grande amiga e colega do laboratório de Engenharia de Irrigação, Ana Rita Costenaro Parizi, pelo indispensável auxílio e disponibilidade na realização desta dissertação com excelência em seu trabalho e pela amizade em todo este tempo de convivência.

Ao grande colega e amigo Ricardo Luis Schons, que esteve presente por um longo período, sempre com palavras de incentivo e sabedoria.

Ao Ezequiel Miola pela grande amizade e companheirismo em todo o tempo; Aos colegas Luis Telechea, Luis Guimarães, Alexandre Ten Caten, Ana Carla dos Santos Gomes, Adriana Biassus, Adriana Gindri, Karine Lançanova, Cibele Soares, Rafaela, Marcela Vilar Sampaio, Paulo Costa, Carlos Oliveira, Fabiano Brum, pelo aprendizado, contribuição técnica e pessoal de todos os dias e pelas amizades, as quais continuarão.

Um agradecimento especial aos amigos André Brandt e Marcelino Knob, pela amizade, ajuda e confiança neste período em que convivemos juntos.

A grande amiga Jusseila Stanguerlin de Oliveira, pela amizade, incentivo, confiança e disponibilidade em todas as horas.

A todos os meus demais familiares e amigos que de uma forma ou de outra sempre estiveram presentes, não importando a distância e nem as circunstâncias em que se encontravam.

Aos grandes amigos Pr. Enéias Martins de Souza, Marcelo Tavares, César Varga e Jorge Oni e pela amizade e ajuda em todas as horas. À comissão de avaliação, pela dedicação e trabalho na avaliação da Dissertação; Aos professores do PPGEA, pelo trabalho e dedicação; Ao bibliotecário Luiz M. Fernandes pelo auxílio nas correções Bibliográficas.

Aos funcionários do CCR, em especial ao Ercelino Martin Bevilaqua, pela disposição para o trabalho e Rose Moraes dos Santos pela amizade.

Muito Obrigado

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.”

Is. 41:10

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

LIMITE SUPERIOR DA RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO: MÉTODO DE CAMPO E MÉTODO DE ESTIMATIVA

Autor: Alexandro Luiz Vielmo
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 01 de fevereiro de 2008.

O limite superior da retenção de água no solo, também conhecido como capacidade de campo, ainda é motivo de discussão e pesquisa entre a comunidade acadêmica, pois a variabilidade dos solos determina a variação nos resultados obtidos em todos os métodos utilizados. A necessidade de acurácia, rapidez dos resultados e custo do teste é que determinam qual método deve ser utilizado. A recomendação para a determinação da capacidade de campo é de que seja realizada "in situ"; entretanto, devido ao processo ser moroso, essa tem sido realizada em laboratório. O presente trabalho foi desenvolvido utilizando dados disponíveis na literatura, reunidos de modo a formarem um banco de dados sobre o assunto em estudo. Foi feita uma análise comparativa entre os valores de umidade volumétrica, obtidos através dos experimentos no campo e os valores da umidade volumétrica estimados com a metodologia proposta e utilizando os diferentes modelos de ajuste da curva de retenção da água no solo. Para realizar a comparação foi feita análise de regressão entre os valores da capacidade de campo pelos diferentes procedimentos com o objetivo de obter o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância de Wilmont (c). A partir dos resultados encontrados neste trabalho concluiu-se que a avaliação da metodologia proposta, para a estimativa da capacidade de campo em função do ponto de inflexão da curva de retenção, quando modelada por um polinômio de 3º grau, apresentou classe de desempenho ótimo e muito bom (66,5%), muito fraco (16,6%) e péssimo (16,6%).

A metodologia aplicada não apresentou resultados consistentes para as diferentes fontes de dados utilizadas, sendo que de maneira geral, os melhores desempenhos encontrados foram para as curvas de retenção determinadas a campo, com exceção de solos de dunas de areia.

Palavras-Chave: retenção da água no solo; capacidade de campo; irrigação.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

SUPERIOR LIMIT OF WATER RETENTION IN SOIL: FIELD METHOD AND ETIMATE METHOD

Author: Alexandro Luiz Vielmo
Adviser: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 01 de fevereiro de 2008.

The superior limit of water retention in soil, also known as field capacity, still is motive of discussion and research inside the academic community. This happens because the variability of soils determines the alternation of results obtained by all methods that were performed. The need of accuracy, quickness of results, and test cost are the factors that point which method should be used. The recommendation for the determination of field capacity is that it must be performed "in situ"; however, due to its slow process, the method has been performed in labs. The present work was developed using data available in literature, compiled in such a way to create a database about the subject studied. A comparative analysis between the volumetric humidity values, obtained through field experiments and the volumetric humidity values estimated by the proposed methodology, and also using the different adjustment models of the water retention curve in soil. In order to establish the comparison, a regression analysis between the values of field capacity was performed using the many procedures in attempt to obtain the correlation coefficient (r) and the Wilmont concordance index (c). From the results obtained in this work it is possible to conclude that the evaluation of the proposed methodology — the estimative of field capacity concerning an inflection of the retention curve when modeled by a third-degree polynomial — presented performance in the class outstanding and very good in 66.5% of the cases and classes of performance very weak 16,6% and extremely bad in about 16,6% of the cases. The applied methodology did not present consistent results for the different sources of data used and in a general way, the best found actings went to the certain retention curves to field, except for soils of dunes of sand.

Key words: water retention in soil; field capacity; irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura.2.1 - Solo como um reservatório (adaptado de DAKER,1988).....	18
Figura 2.2 - Estufa de secagem de solo	22
Figura.2.3 – Picnômetro.....	23
Figura 2.4 – Dupea.....	24
Figura 2.5 – Tensiômetro.....	25
Figura 2.6 - Bloco de Bouyoucos.....	26
Figura 2.7 - Sensor Watermark.....	27
Figura 2.8 - Equipamentos utilizados no método Speedy.....	28
Figura 2.9 – Sonda de Nêutrons (Ferreira 2003).....	29
Figura 2.10 - ECH 20 – Dielectric Aquameter (DECAGON DEVICES).....	30
Figura 2.11 – TDR e hastes.....	31
Figura 2.12 - Relação entre capacidade de campo e umidade equivalente (adaptado de DAKER (1988)).....	34
Figura 2.13 - Ponto de murcha permanente em função da capacidade de campo.	35
Figura 3.1 – Distribuição das classes texturais dos solos utilizados.....	44
Figura 4.1 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico (CARVALHO, 2002).....	51
Figura 4.2 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (COSTA, 1986).....	53
Figura 4.3 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (SAUNDERS, 1978).....	55
Figura 4.4 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (LIBARDI, 1978).....	57
Figura 4.5 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo vermelho amarelo, fase arenosa (LIBARDI, 1978).....	59
Figura 4.6 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo vermelho amarelo, fase arenosa (LIBARDI, 1978).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1- Valores da umidade volumétrica correspondentes a umidade em capacidade de campo e diferentes classes texturais (CAMPBELL, 2006).....	19
Tabela 3.1 - Valores de granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes do perfil de solo. Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico.....	40
Tabela 3.2 - Valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural e densidade global dos horizontes do perfil de solo.....	41
Tabela 3.3 - Valores da densidade do solo, da granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes do perfil de solo.....	42
Tabela 3.4 - Valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural dos horizontes do perfil de solo e densidade global do perfil de solo.....	42
Tabela 3.5 - Valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.....	43
Tabela 3.6 - Valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.....	44
Tabela 3.7 - Classificação para o índice de desempenho do método proposto.....	48
Tabela 4.1 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	49
Tabela 4.2 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	50
Tabela 4.3 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	52
Tabela 4.4 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	52
Tabela 4.5 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	54
Tabela 4.6 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	54
Tabela 4.7 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do solo.....	56
Tabela 4.8 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	56
Tabela 4.9 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	58
Tabela 4.10 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	58
Tabela 4.11 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	60
Tabela 4.12 - Valores da capacidade de campo calculados pela equação 3.2 e pela	60

equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo.....	
Tabela 4.13 – Valores de coeficiente angular b, o coeficiente de correção r, o índice de concordância de Wilmont c, o índice de desempenho Id e a classe de desempenho qualitativo.....	62

SUMÁRIO

1. – INTRODUÇÃO	15
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 – Modelo da disponibilidade da água no solo.....	17
2.2 – Relação entre capacidade de campo e textura do solo.....	19
2.3 – Limite superior da retenção da água no solo em experimentos no campo.....	20
2.4 – Umidade no solo em experimentos no campo por métodos diretos.....	21
2.5. – Métodos de determinação da água no solo.....	21
2.5.1 – Métodos gravimétricos.....	22
2.5.1.1 – Método padrão de estufa	22
2.5.1.2 – Método das pesagens	23
2.5.1.3 – Método DUPEA	24
2.6 – Umidade no solo nos experimentos no campo por métodos indiretos.....	25
2.6.1 – Método tensiométrico.....	25
2.6.2 – Métodos da resistência elétrica.....	25
2.6.2.1 – Método de Bouyoucos – blocos de gesso.....	25
2.6.2.2 – Método de Colman – nylon.....	26
2.6.2.3 – Sensor Watermark.....	27
2.6.3 - Método químico.....	27
2.6.4 – Método nuclear ou sonda de nêutrons.....	28
2.6.5 – Método de capacitância elétrica.....	29
2.6.6 – Método do TDR.....	30
2.7 – Limite superior da retenção da água no solo obtido indiretamente.....	31
2.7.1 – Umidade retida a potenciais específicos em laboratório.....	31
2.7.2 – Umidade referente à umidade equivalente.....	33
2.7.3 – Referente ao potencial a 15 bars.....	34
2.8 – Estimativa da capacidade de campo por funções de pedotransferência.....	36

2.9 – Umidade da curva de retenção em pontos notáveis.....	38
3 – METODOLOGIA.....	40
3.1 – Obtenção dos dados.....	40
3.1.1 – Dados obtidos em Carvalho (2002).....	40
3.1.2 – Dados obtidos em Costa (1986).....	41
3.1.3 – Dados obtidos em Saunders (1978).....	41
3.1.4 – Dados obtidos em Libardi (1978).....	42
3.1.4.1 – Solo terra roxa estruturada.....	42
3.1.4.2 – Solo vermelho amarelo fase-arenosa.....	43
3.1.5 – Dados obtidos em Prevedello (1979).....	43
3.2 – Capacidade de campo obtida através dos experimentos no campo.....	45
3.2.1 – Ajuste da umidade volumétrica em relação ao tempo.....	45
3.2.2 – Determinação da umidade em capacidade de campo.....	45
3.3 – Capacidade de campo estimada com a metodologia proposta.....	45
3.3.1 – Ajuste da curva de retenção da água no solo.....	46
3.3.2 – Determinação da umidade em capacidade de campo.....	46
3.4 – Análise dos dados.....	46
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 – Dados obtidos em Carvalho (2002).....	49
4.2 – Dados obtidos em Costa (1986).....	51
4.3 – Dados obtidos em Saunders (1978).....	53
4.4 – Dados obtidos em Libardi (1978).....	55
4.4.1 – Solo terra roxa estruturada.....	55
4.4.2 – Solo Vermelho Amarelo Fase Arenosa.....	57
4.5 – Dados obtidos por Cho et al (1976).....	59
4.6 – Avaliação do desempenho do método proposto.....	61
5 – CONCLUSÕES.....	63
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	74

1 – INTRODUÇÃO

A água disponível no perfil do solo é um dos fatores de grande relevância nas atividades agrícolas, pois além de manter abastecido o lençol freático, ela é fator indispensável no desenvolvimento das culturas. No entanto, devido às variações nos tipos de solos e na diversidade de suas características físico-hídricas, se faz necessário uma busca por informações e técnicas adequadas ao melhor manejo da água no solo.

A capacidade de armazenamento de água no solo possui relação direta com a curva de retenção da água no solo, a qual representa relação entre o teor de água e a energia com que ela está retida no solo, sendo esta uma importante informação em pesquisas das culturas irrigadas.

A avaliação da curva de retenção permite uma estimativa rápida da disponibilidade de água no solo para as plantas, na profundidade de solo considerada. Assim, pode-se determinar a quantidade máxima de armazenamento de água ("capacidade de campo"), o armazenamento mínimo (ponto de murchamento) ou o armazenamento em qualquer ponto da curva.

Várias são as técnicas de campo e de laboratórios que podem ser aplicadas para a determinação da umidade volumétrica, as quais podem ser de forma direta ou indireta. Porém, estes métodos demandam tempo e trabalho, sendo inviável em grandes áreas.

Por esta razão, a umidade do solo vem sendo estudada por pesquisadores que utilizam equações matemáticas para estimar a capacidade de campo. Os resultados encontrados possuem boa relação com os dos métodos tradicionais, indicando ser esta uma boa alternativa viável, rápida e econômica na obtenção do valor da capacidade de campo.

Nesta mesma linha de pesquisa, Ferreira e Marcos (1983) propuseram o ponto de inflexão da curva característica de água no solo como sendo a capacidade de campo, sendo essa representada matematicamente. obtiveram resultados

significativos quando esse ponto da curva foi correlacionado com aquele parâmetro determinado "in situ" e com a umidade sob potencial matricial de 6 kPa.

O presente trabalho teve por objetivo comparar a determinação do limite superior da disponibilidade da água no solo obtido no campo com um método indireto baseado no ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo ajustada a um modelo polinomial de terceira ordem.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo se dedica a uma revisão sucinta do limite superior da retenção da água no solo, envolvendo apenas a visão do seu aspecto estático, o que permite tratá-la como um valor característico do solo, conhecido como capacidade de campo. Não será levada em consideração a sua dinamicidade conforme discutido em Reichardt (1993).

2.1 – Modelo da disponibilidade da água no solo

O conceito de Capacidade de Campo (CC) tem sido alvo de constantes discussões entre diversos autores. No entanto, Veihmeyer e Hendrickson (1949) são os pioneiros e definem como sendo a “quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”.

Este conceito tem sofrido muitas críticas ao ponto de Richards (1960) afirmar que o conceito da CC causou mais males do que esclarecimento.

Reichardt (1988) também critica a teoria principalmente pela impressão errônea de que a CC é uma característica intrínseca do solo e independe do método empregado em sua determinação. Ele defende a influência da textura e estrutura do solo e acrescenta ainda que o teor de matéria orgânica, seqüência dos horizontes e gradiente textural entre os horizontes também interferem diretamente nos resultados da CC Posteriormente estas afirmações foram confirmadas por Fabiam et al., (2000).

Bernardo (1987) defende que a CC não possui uma determinação precisa, tendo em vista que há variação no tempo necessário para que a intensidade de drenagem torne-se tão lenta que pode ser considerada desprezível e esta variação

ocorre principalmente pela textura do solo, pois quanto mais grosseira for a textura, mais fácil será a determinação.

O conceito de CC é de indiscutível utilidade, por indicar o limite superior aproximado da quantidade de água disponível para as plantas (JONG, 2000). No Brasil, há uma grande diversidade de solos com as mais variadas características físicas, dificultando assim uma padronização nos valores referentes à CC devendo ser determinadas para cada tipo de solo. A figura 2.1 representa o solo como um reservatório segundo (DAKER, 1988).

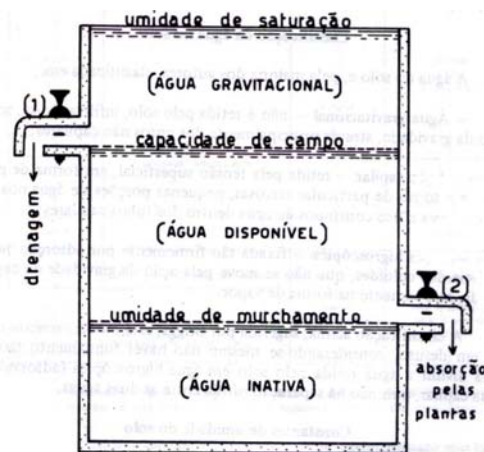


Figura 2.1 - Solo como um reservatório (adaptado de DAKER, 1988)

Na figura acima, pode-se observar que na ocasião de uma grande chuva ou irrigação, o reservatório enche, atingindo a umidade de saturação. Porém, não permanece cheio por muito tempo, pois a água gravitacional é drenada pelo perfil do solo. Esta drenagem depende do tipo de solo e condições de umidade em que ele se encontra, podendo levar de um a quatro dias para atingir a capacidade de campo. No intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente, dizemos que a água se encontra disponível a cultura.

Segundo Daker (1988) e a maioria dos autores, a água no solo pode ser classificada na seguinte forma:

a) Água gravitacional

Esta água não é retida pelo solo e sob a ação da gravidade infiltra-se através dos macro-poros.

b) Água Capilar

É a água retida pela tensão superficial, em volta das partículas de solo, nos poros capilares e ainda fios contínuos de água dentro dos tubos capilares.

C) Água higroscópica

A água higroscópica está tão fortemente retida aos colóides do solo que não sofre ação da gravidade ou capilaridade, mas poderá se mover somente em forma de vapor.

2.2 – Relação entre capacidade de campo e textura do solo

Segundo Reichardt (1988), a capacidade de campo na maioria dos solos se encontra entre os potenciais matriciais de -10 kPa e -33 kPa, dependendo da textura e estrutura do solo. Um exemplo desse tipo de relacionamento, de acordo com Campbell (2006), pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1- Valores da umidade volumétrica correspondente a umidade em capacidade de campo em diferentes classes texturais (CAMPBELL, 2006).

Classe textural	Granulometria %			Umidade volumétrica $m^3 m^{-3}$
	Areia	Silte	Argila	
Areia	92	5	3	0,03
Franco arenoso	81	12	7	0,10
Arenoso	65	25	10	0,17
Argilo arenoso	60	13	27	0,32
Argila	42	40	18	0,27
Areno argiloso	53	7	40	0,38
Argilo siltoso	20	65	15	0,27
Silte	6	87	7	0,24
Argiloso	32	34	34	0,36
Silte argilo arenoso	9	58	33	0,36
Silte argiloso	10	45	45	0,40
Argiloso	20	20	60	0,42

A tabela 2.1 apresenta valores referentes à água contida no solo a 33 Kpa, considerado como em Capacidade de Campo. A umidade volumétrica contida no perfil do solo varia de acordo com a textura do solo.

A classe textural das areias, apresentam uma textura mais grossa, tendendo a uma maior drenagem, resultando em percentagem menores de umidade do solo, como é o caso da areia, que apresentou 0,03 m³.m³. de umidade volumétrica na condição de capacidade de campo, enquanto a textura fina dos solos podem ter teores maiores de umidade, que neste caso apresentou 0,42 m³.m³ de umidade volumétrica.

Os valores indicados na tabela apresentam uma condição local, podendo variar de acordo com a densidade ou textura do solo analisado.

2.3 – Limite superior da retenção da água no solo em experimentos no campo.

Segundo Daker (1988), sua determinação, em solos bem drenados, pode ser feita da seguinte maneira: umedece-se, com excesso, uma pequena área (1m²) de solo limpo de vegetação e raízes e cobre-se a referida área com encerado ou pó de serra, a fim de ser evitada a evaporação.

Tiram-se amostras de solo a profundidades desejadas, após 24, 48, 96 e às vezes a 120 horas, tempo em que toda a água de percolação deve estar suficientemente drenada. As amostras são recolhidas em recipientes herméticos e suas umidades são determinadas em estufa a 105 -110° C.

Comparam-se os valores das percentagens de umidades, determinadas na base do peso das amostras secas, naqueles intervalos de tempo e verifica-se a partir de qual delas os valores permanecem aproximadamente constantes, constituindo, a média destes últimos, a capacidade de campo procurada.

2.4 – Umidade no solo em experimentos no campo por métodos diretos

A determinação direta da CC “in situ” consiste na aplicação de uma lâmina de água por inundação, numa área delimitada, para garantir o molhamento pleno do perfil de solo, com posterior proteção superficial da região umedecida, visando evitar a perda de água por evaporação ou a adição por ocorrência de chuvas. A umidade da capacidade de campo, por profundidade, é normalmente obtida após dois a quatro dias da completa infiltração da lâmina aplicada.

Os métodos “in situ” usuais são descritos pela Embrapa (1979) e por Cassel e Nielsen (1986), como sendo uma das melhores maneiras de representar o conceito de CC. Porém esta metodologia é sujeita a crítica (BAYER et al 1972; HILLEL, 1980c; CASSEL e NIELSEN, 1986; REICHARDT, 1988; FABIAN e OTTONI FILHO, 2000), principalmente no que se refere às condições iniciais de umidade do solo, antes da realização do teste, ao tempo ideal de medição após a infiltração, à área mínima do tabuleiro e, finalmente, à lâmina de água a ser aplicada.

No que diz respeito às condições iniciais do solo, Hillel (1980c) sugere que, quanto mais úmido inicialmente estiver o solo e quanto maior for a lâmina de molhamento, mais lenta será a taxa de redistribuição e maior será a capacidade de campo. Por essa razão, Ottoni Filho (2003) recomenda a realização do teste “in situ” em solos secos, em adição ao fato de que, no período seco, é menor a possibilidade de ocorrência de chuvas.

A determinação da capacidade de campo ainda é motivo de discussão e pesquisa entre a comunidade acadêmica.

2.5. – Métodos de determinação da água no solo

Reichardt (1988) descreve esta metodologia onde inicialmente o solo deve ser inundado até uma profundidade de aproximadamente 1,5m; em seguida, esta área deve ser coberta com plástico impedindo a evaporação da água no solo e a drenagem interna poderá ser monitorada por diversos métodos de determinação do conteúdo de água no solo (umidade), que serão descritos a seguir:

2.5.1 – Métodos gravimétricos

Esses métodos se baseiam na determinação do conteúdo de água no solo através da pesagem de amostras de solo antes e após sofrerem um processo de secagem ou de adição de água.

2.5.1.1 - Método padrão de estufa

Este método consiste na secagem de amostras de solo numa estufa (figura 2.2) a 105-110 °C por 24 horas. Estas amostras são pesadas antes e depois da secagem, sendo possível calcular a percentagem de umidade do solo em base seca.

Uma das grandes vantagens do método padrão de estufa é a precisão que ele apresenta, sendo utilizado como referência para calibrar equipamentos e métodos. O maior limitante deste método é o tempo necessário para obtenção do resultado, o qual será de aproximadamente 24 horas.

Este método é um dos métodos mais utilizados pelo seu baixo custo de realização, não necessitando de equipamentos sofisticados e nem de adição de produtos químicos.



Figura 2.2 - Estufa de secagem de solo

2.5.1.2 – Método das pesagens

Este método é também conhecido como método do balão volumétrico e foi desenvolvido por PAPADAKIS (1941) e melhorado posteriormente por KLAR et al. (1966) e BERNARDO (1968) apud (Righes, 2003, p. 9).

Este método possui boa correlação com o método padrão, por isto é considerado padrão segundo BERNARDO (1968).

Para a realização deste método é necessário que se calibre o método para cada tipo de solo, conhecendo assim a massa padrão.

Uma vez realizado o procedimento padrão, o conteúdo de água no solo é determinado utilizando o seguinte procedimento: Utilize um balão volumétrico de capacidade de 500 ml (figura 2.3), adicione 250 ml de água, 100 g de solo da área a ser analisada e complete o balão com água. O resultado do conteúdo de água no solo será obtido, conhecendo a massa de solo úmido e relacionando com a massa (padrão) pré-determinada e tendo em mão a densidade do solo.

A vantagem deste método é a sua rapidez em relação aos demais métodos, pois este é um dos mais rápidos métodos para determinação a campo.

Os fatores limitantes para realização a campo é a necessidade dos equipamentos utilizados.

Este método apresenta um baixo custo e ainda não necessita de equipamentos sofisticados.



Figura 2.3 – Balão Volumétrico

2.5.1.3 – Método DUPEA

O DUPEA (figura 2.4) é um instrumento para determinar a umidade. Foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola, da UFV, inicialmente para aferir a porcentagem de umidade de grãos. Trata-se de um método gravimétrico, com determinação direta da umidade do solo. Pode ser também utilizado com média precisão, para determinar a umidade do solo em peso e em base úmida.

O equipamento consiste de uma simples balança de barra, onde de um lado coloca-se um peso e do outro, 100g de amostra de solo da área que se deseja saber a umidade, usando-se um recipiente de alumínio. Adiciona-se fogo sob o recipiente que contém a amostra, e aguarda-se até que a amostra atinja uma temperatura de 180°C, monitorada por um termômetro. Desse modo, toda a água presente na amostra sofre evaporação. Para evitar a queima do solo, adiciona-se óleo à amostra. Com a evaporação, os dois lados da balança se desequilibram. Para retornar o equilíbrio, adiciona-se um volume conhecido de água. Este volume adicionado é corresponde à água existente na amostra do solo (MANTOVANI et al., 1986).

A principal vantagem do método é que a determinação da umidade pode ser feita logo após a amostragem que leva apenas alguns minutos para ser realizada. A limitação do método em relação aos demais é a susceptibilidade ao erro de manipulação durante a operação. Este método apresenta um baixo custo, pois o equipamento pode ser facilmente construído.



Figura 2.4 – Equipamento Dupea(UFV 1989)

2.6 – Umidade no solo nos experimentos no campo por métodos indiretos

2.6.1 – Método Tensiométrico

O tensiômetro (figura 2.5) consiste de uma cápsula porosa de cerâmica, conectada a um manômetro através de um tubo completamente cheio de água (REICHARDT e TIMM, 2004). As cápsulas são construídas com porosidade tal que apresente pressão de borbulhamento superior a 100 kPa (LIBARDI, 1999) e deve ter condutância alta e uniforme, pois a resposta dos tensiômetros está condicionada a esta característica.

O tensiômetro mede o componente matricial do potencial de água no solo, sendo seus valores expressos em centibars, atmosfera, metro ou centímetro de coluna d'água, milímetro de mercúrio (REICHARDT, 1996).

Este método apresenta um baixo custo e boa precisão para manejo de irrigação



Figura 2.5 – Tensiômetro com manômetro metálico

2.6.2 – Métodos da resistência elétrica

Estes métodos seguem o princípio de que o solo úmido oferece menor resistência à passagem da corrente elétrica do que o solo seco.

2.6.2.1 - Método de Bouyoucos – blocos de gesso

Este método foi desenvolvido por Bouyoucos e Mick (1940), é baseado na medição da resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos em um bloco,

geralmente de gesso (figura 2.6). A resistência elétrica é medida por uma ponte de Wheatstone (corrente alternada), dando uma indicação indireta de umidade do bloco e, portanto, do conteúdo de água no solo.

Os blocos de gesso, quando enterrados no solo, absorvem umidade ou a perdem para o solo, até que a solução dentro dos blocos entre em equilíbrio com a água contida no solo.

As vantagens deste método é a sua simplicidade no manejo podendo ser usado no manejo da irrigação e uma vez calibrado, o aparelho determina indiretamente a porcentagem de água no solo em função da resistência elétrica. Este método não possui alta precisão para pesquisa. Devido a esta característica, em caso de utilização em pesquisa, deve-se desprezar a sua calibragem geral em percentagem e calibrá-lo novamente em campo utilizando um método padrão.



Figura 2.6 - Bloco de Bouyoucos (MUÑOZ-CARPENA, 2004)

2.6.2.2 - Método de Colman – nylon

Este é um método indireto utilizado para a determinação de umidade do solo, baseado no mesmo princípio do método de Boyoucos. Porém, o bloco onde são inseridos os eletrodos é de fibra de vidro, envolvida por duas chapas de metal “monel” perfuradas. O bloco é composto por “thermistor”, permitindo, assim, determinar a temperatura da célula e fazer a correção das leituras, em função da temperatura. As células devem ser calibradas para cada tipo de solo, o que dá maior precisão no cálculo da umidade do solo. Essa calibração pode ser em função do teor de água no solo ou, preferencialmente, da sua tensão.

Este método é mais sensível que o de Boyoucos para maiores teores de água no solo, porém é mais suscetível à concentração salina do solo.

2.6.2.3 - Sensor Watermark

O sensor watermark (figura 2.7) é formado de dois eletrodos embutidos num molde, seu funcionamento utiliza a resistência elétrica para medir o nível de umidade do solo e quando a eletricidade é aplicada, o material do molde mostra uma resistência elétrica que muda com a variação do volume de umidade do molde. Esta mudança na resistência é lida e convertida em potencial de água do solo.

O sensor mede em um intervalo entre 0 e 200 centibars e possui vantagens de ser um sensor sólido, que não se deteriora em contato com o solo, não é afetado por baixas temperaturas, possui uma compensação interna para níveis de salinidade do solo e praticamente não apresenta problemas de manutenção.

Este sensor foi inicialmente patenteado em 1985 e fabricado pela Companhia de Irrrometer desde 1989. A comunidade acadêmica de ciências do solo iniciou suas pesquisas neste sensor em meados de 1980, onde os resultados demonstraram ser este um sensor eficiente e prático para medida de tensiometria no meio agrícola e em áreas de paisagismo. A desvantagem deste sensor é o alto custo de aquisição, pois ainda não é fabricado no Brasil.



Figura 2.7 - Sensor Watermark (Irrrometer)

2.6.3 - Método químico

Este é um método indireto e tem grande aplicação no monitoramento do conteúdo de água para compactação de estradas.

O princípio de funcionamento do método é a reação da água com o carbureto de cálcio (CaC_2) que, colocado em excesso em uma amostra de solo, em ambiente fechado (figura 2.8), reage com a água existente na amostra produzindo gás acetileno.

Como a amostra se encontra num recipiente hermeticamente fechado, a formação de gás acetileno provocará aumento na pressão interna do recipiente. A pressão é lida em um manômetro e é diretamente proporcional ao conteúdo de água na amostra de solo. A calibração deverá ser obtida utilizando-se o método gravimétrico como referência (RIGHES et al., 2003).

Este método é caracterizado pela grande facilidade no manuseio do equipamento. Podendo ser aplicado em qualquer solo, para qualquer faixa de disponibilidade de água, bastando apenas calibrá-lo. Além disso, a determinação do conteúdo de água no solo é rápida, obtendo-se o resultado em poucos minutos. Este método possui a desvantagem de ser um método destrutivo. O Método Speedy ou método do acetileno caracteriza-se pelo baixo custo.



Figura 2.8 - Equipamentos utilizados no método Speedy (viatest)

2.6.4 – Método nuclear ou sonda de nêutrons

Este método foi desenvolvido em 1940 e tem como princípio a interação entre o conteúdo de água no solo e a radiação de nêutrons. A técnica da moderação de nêutrons (figura 2.9) pode ser utilizada para determinar o conteúdo de água em determinada profundidade no solo.

O equipamento medidor utilizado denomina-se sonda de nêutrons, constituído de sonda e contador. A sonda contém uma fonte radioativa emissora de nêutrons

rápidos e um detector dos nêutrons lentos ou termalizados que retornam. Para o monitoramento do conteúdo de água no solo, são inseridos no solo tubos de acesso onde se introduz a sonda, com o emissor e o detector de nêutrons lentos, nas profundidades desejadas.

As curvas de calibração da sonda de nêutrons devem ser obtidas para cada profundidade do solo a ser considerada e para cada tipo de solo. Estas curvas devem ser comparadas com a curva de calibração fornecida pelo fabricante.

Este método apresenta como grande vantagem a sua natureza não-destrutiva. Pois a determinação pode ser repetida várias vezes num mesmo local, sem alterar a estrutura do solo, após a colocação dos tubos de acesso.

Sua utilização tem sido restrita, por causa da fonte radioativa, apresentando um alto risco de contaminação. Existem ainda leis e normas que regulamentam e fiscalizam o uso desses materiais, constituindo uma grande desvantagem da sonda de nêutrons. O equipamento utilizado possui um alto custo financeiro.



Figura 2.9 – Sonda de Nêutrons (Ferreira 2003).

2.6.5 – Método de capacitância elétrica

Este sensor é construído de fibra de vidro e contém no seu interior partículas de cobre que atuam como as placas de um capacitor. O meio que circunda o sensor atua como dielétrico. Assim quando o sensor é inserido no solo, é possível determinar a constante dielétrica do solo e, indiretamente o conteúdo volumétrico de água.

O sensor ECH 20 – Dielectric Aquameter, fabricado pela Decagon Devices (figura 2.10).

O princípio de funcionamento é baseado na diferença existente entre a constante dielétrica da água e a constante dielétrica do ar e dos minerais presentes no solo. Como a constante dielétrica da água é muito maior que a dos outros constituintes do solo, uma pequena variação do conteúdo de água gera um aumento considerável na constante dielétrica da mistura ar-água-solo, tornando possível a determinação do conteúdo volumétrico de água no solo.

Segundo o fabricante, o sensor ECH 20 tem baixo consumo energético e alta resolução, o que permite realizar várias determinações por um longo período de tempo com um mínimo de consumo energético da bateria. Assim, conectando-se um sensor a um datalogger, é possível obter dados durante todo o período de desenvolvimento da cultura a ser monitorada.



Figura 2.10 - ECH 20 – Dielectric Aquameter (DECAGON DEVICES).

2.6.6 – Método do TDR

A TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) é um método indireto, onde estima a umidade do solo a partir da constante dielétrica calculada, cujo valor é baseado no tempo de emissão/reflexão de um pulso eletromagnético, emitido por um gerador de pulsos, em hastes metálicas paralelas ou não, que servem como guia de ondas.

A configuração da sonda com suas hastes assemelham-se à construção de um capacitor, em que o material dielétrico é o próprio solo (WRAITH & DAS, 1998).

Este método apresenta como desvantagem a sua calibração. Atualmente, não há um modelo admitido como padrão de calibração, mas existem pesquisas que visam sistematizar essa calibração (WHITE et al., 1994). Outras variáveis que afetam indiretamente os resultados são as texturas, densidade, estrutura, teor de sais solúveis, temperatura e frequência da onda eletromagnética utilizada (TOPP et al., 1980). Os preços dessas guias de onda dos fabricantes, associados aos custos de importação, têm sido limitantes para o uso desses equipamentos.



Figura 2.11 – TDR e hastes instalados no solo.

2.7 – Limite superior da retenção da água no solo obtido indiretamente

Apesar da recomendação da determinação da CC “in situ” (REICHARDT, 1988; REICHARDT, 1996; ANDRADE et al., 1998 e VAN LIER, 2000), citam que essa determinação é excessivamente trabalhosa e demorada, o que tem provocado uma série de técnicas criadas como alternativas para a estimativa da capacidade de campo por métodos indiretos.

2.7.1 – Umidade retida a potenciais específicos em laboratório

Amostra de solo é submetida à tensão de 6 kPa, utilizando placas porosas em funis de Bucner (ou mesa de tensão).

Ferreira & Marcos (1983) e Andrade et al (1991), têm sugerido a tensão de 6 kPa como uma possível estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo. No entanto, esses mesmos autores concluíram que a essa tensão há uma subestimação da umidade, com conseqüências na precisão.

O funil de Buchner é um funil geralmente de plástico com orifícios ao longo de todo o seu perímetro circular. Este funil é usado na filtração a vácuo ou sob pressão, e permite fazer a separação entre o sólido, que fica retido no papel de filtro, e o líquido que se quer filtrar que é recolhido no kitasato. Quando se usa um funil de Buchner, é necessário colocar papel de filtro sobre os orifícios de modo a tapá-los completamente. O papel deve ser molhado com solvente para melhor aderência.

Verificou-se ainda, muitas tentativas para associar o limite superior de água disponível com o conteúdo de água do solo em equilíbrio com 10 ou 33 kPa (REICHARDT, 1996; VAN LIER, 2000).

A estimativa da CC em laboratório (método indireto) tem sido proposta por diversos autores, que utilizam amostras com estrutura natural (CASSEL e NIELSEN, 1986), adotando a quantidade de água retida por uma amostra previamente saturada, após ter sido submetida a uma força centrífuga 1.000 vezes a da gravidade durante 30 minutos. Sendo, portanto equivalente a um potencial de 33 kPa.

Um método já conhecido é o método das placas de Richards ou metodologia da panela de pressão, desenvolvido por Richards (1947) para aplicação em laboratório na obtenção de dados para estimar a CC. Este é um dos métodos mais utilizados em laboratório de física dos solos para a obtenção da curva de retenção da água no solo.

Libardi (2000) destaca que para obtenção da umidade em baixas tensões (menores que 10 kPa), pode-se utilizar o funil de Haines. Essa metodologia foi desenvolvida inicialmente por Haines (1930), na qual se utiliza um funil com uma placa porosa na parte inferior, acoplada a uma coluna de vidro com as alturas ou tensões de interesse. Com isso, as amostras uma vez saturadas, são submetidas às respectivas tensões da coluna e após atingirem o equilíbrio, são pesadas e transferidas para estufa, obtendo no final, uma relação do potencial mátrico e umidade do solo.

A umidade de CC normalmente é associada a uma determinada tensão da água no solo, sendo comumente adotado, para solos argilosos 0,033 MPa

(OLIVEIRA et al., 2002; REICHARDT, 1996; REICHARDT & TIMM, 2004; RICHARDS, 1947; RUIZ et al., 2003).

Ainda em solos argilosos, pode-se determinar com a tensão de 0,01 MPa, conforme (ARAÚJO et al., 2004; CIRINO & GUERRA, 1994; GIAROLA ET AL, 2002; LEÃO et al., 2004; REICHARDT e TIMM, 2004; RICHARDS, 1947; SILVA et al., 1994; SOUZA et al., 2002; TORMENA et al., 1998).

Mello et al, 2002 e Reichardt e Timm, 2004, trabalharam com solos arenosos com a tensão de 0,006 MPa. Como exemplo da diversidade de solos e a variação nos resultados da CC, (REICHARDT, 1988) chama a atenção aos solos característicos das regiões tropicais e úmidas, pois nestes casos, o critério clássico, que fixa o potencial matricial da CC em -33 kPa, deve ser alterado para potenciais maiores, da ordem de -10 a -6 kPa.

Bernardo (1987), também considera dois tipos de solos em relação aos valores de tensão equivalente a CC, para solos de textura grossa, considera-se 0,1 atm e 0,33 atm para solos de textura fina, sendo que geralmente é utilizado 0,33 atm para todos os tipos de solos. Nestes casos, o percentual de umidade equivalente a CC varia de 8% a 30% em solos arenosos e argilosos respectivamente.

2.7.2 – Umidade referente à umidade equivalente

A umidade equivalente é o conteúdo de água no solo que uma amostra retém após sua saturação com água e submetida a uma força centrífuga correspondente a mil vezes a da gravidade (DAKER, 1988).

Segundo o mesmo autor, a umidade equivalente pode ser considerada praticamente igual à capacidade de campo em solo de textura mediana a fina, sendo que para solos arenosos leves, o valor da umidade equivalente pode ser 50% da capacidade de campo e para solos argilosos pesados, a umidade equivalente pode ser um pouco maior que a capacidade de campo.

Thorne e Peterson (1949) mostram a relação entre a capacidade de campo e a umidade equivalente, onde se observa, na figura 2.12, que os índices são, com pequenas variações, iguais (relação igual a 1) em solos de média a alta capacidade de retenção, ao passo que a primeira torna-se bem maior que a segunda (relação maior que 1) nos solos em que a umidade equivalente é inferior a 10%.

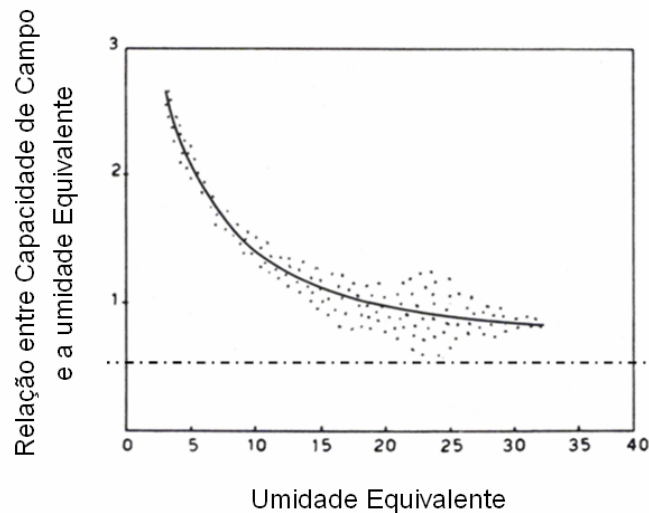


Figura 2.12 - Relação entre capacidade de campo e umidade equivalente, adaptado de DAKER (1988).

Segundo Daker (1988), a umidade equivalente é facilmente obtida em laboratório e pode ser usada como valor aproximado da capacidade de campo.

2.7.3 – Referente ao potencial a 15 bars

Segundo Barreto (1957), para as condições dos solos de São Paulo (BR), a Secção de Agrogeologia do Instituto Agrônomo de Campinas apresenta que para fins práticos, a capacidade de campo é superior a 30% da umidade equivalente. Para os mesmos solos, Paiva Neto e de Jorge (1947), a umidade de murchamento ou ponto de murcha permanente equivale a 68% da umidade equivalente.

De acordo com Daker (1988), o ponto de murcha permanente refere-se à umidade contida no solo que foi submetida a uma tensão de 13 a 15 atm.

Diversas pesquisas comprovam que a umidade do solo a uma tensão de 15 bar refere-se ao PMP, tendo em vista que o murchamento permanente das folhas, em condições de vasos contidos em estufas, acontece aproximadamente a essa tensão (RICHARDS e WEAVER, 1944; WINTER, 1984; SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998; MELLO et al., 2002; SOUZA et al., 2002; ARAUJO et al., 2004; LEÃO et al., 2004; REICHARDT e TIMM, 2004).

A principal contribuição, pioneira na caracterização do PMP, foi a conceituação de Veihmeyer e Hendrickson (1949): “é a umidade do solo quando as

folhas das plantas em crescimento atingem um estado de murcha a partir do qual não se recuperam quando colocadas em uma atmosfera saturada por 12 horas, sem adição de água no solo”. Este procedimento utilizando o método fisiológico direto é classicamente realizado em pequenas quantidades de amostras de solo contidas em vasos em casa de vegetação, usando o girassol como planta indicadora (PETERS, 1965).

Estudos feitos por Oliveira e Martins (1966) registram as diferenças entre os valores de ponto de murcha permanente, obtidos a partir da utilização do girassol e feijão-caupi como plantas indicadoras. Porém, evidenciou-se que o algodoeiro é uma planta muito tolerante a baixos teores de água no solo, ultrapassando o girassol e o feijão (KIEHL, 1979). Destacam-se outros conceitos similares a esse último, tais como em Klar (1984) e em Carvalho e Silva (1999).

Em trabalho realizado por Campbell (2006), pode-se encontrar uma relação funcional entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo do tipo quadrático (figura 2.13), válida segundo esse autor para as doze classes texturais que aparecem na Tabela 1.1. O ponto de murcha permanente refere-se à umidade contida no solo que foi submetida a uma tensão equivalente a 15 atm.

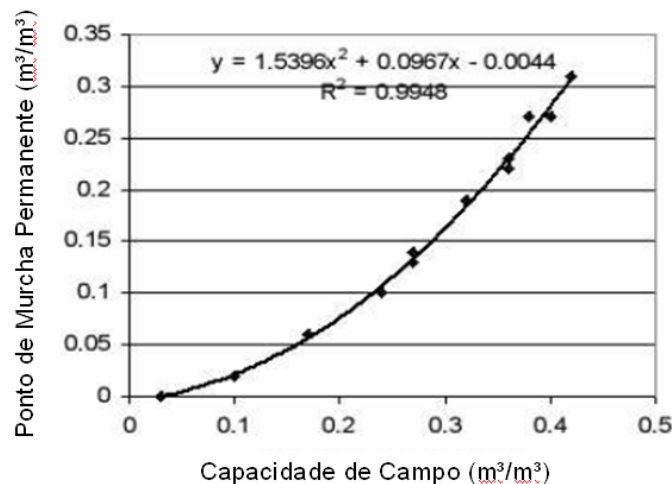


Figura 2.13 - Ponto de murcha permanente em função da capacidade de campo (Campbell 2006)

2.8 – Estimativa da C.C. por Funções de pedotransferência

A origem da palavra pedotransferência é formada pela união da palavra grega pedon, que significa solo ou terra (BRADY, 1989), com a palavra transferência, que significa ato de transferir. A pedotransferência serve para estimar características ou propriedades correlacionadas a partir de dados existentes. Quando a pedotransferência é expressa de forma quantitativa, por meio de equações matemáticas, ela é designada por Funções de Pedotransferência (EMBRAPA SOLOS, 2003). Essa expressão (FPT) foi criada por Bouma (1989) e significa “transformando dados que possuímos em dados que necessitamos”. A busca desta metodologia tem aumentado por parte dos pesquisadores, por atender as expectativas principalmente na predição de propriedades hídricas do solo. Outra razão é o alto custo das análises e do número reduzido de laboratórios que possuem o equipamento para determinação da curva de retenção de água no solo, resultando em um longo tempo de espera pelos resultados. Segundo, Sales et al. (1999), o uso de modelos matemáticos para estimativa de propriedades do solo de difícil aquisição com base em outras características, de fácil e rápida análise, tem sido freqüentemente utilizado em projetos hidroagrícolas, visando economia de tempo e redução de custos com análises laboratoriais.

Atualmente, sua aplicação em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), têm revelado excelentes resultados práticos nas aplicações envolvendo recursos naturais para gestão de terras agrícolas. Com isto podem-se aplicar as FPTs utilizando estes bancos de dados, na obtenção de outras informações que seriam mais laboriosa e mais cara e que possuem ampla aplicação, inclusive em modelagem de processos no solo (WAGENET et al., 1991; BERNOUX et al., 1998).

Rawls et al. (1982), citam que existe um grande número de FPTs criadas na tentativa de melhorar a capacidade preditiva da água disponível a partir de propriedades físicas do solo.

Alguns exemplos podem ser citados quando nos referimos aos solos brasileiros como é o caso de Arruda et al. (1987), que realizou seu trabalho com 218 amostras em vários locais do estado de São Paulo; Tomazella et al. (2000) desenvolveu um modelo a partir de mais de 500 amostras para os solos brasileiros. Oliveira et al. (2002) desenvolveu equações a partir de dados de 98 perfis de solos para o estado

de Pernambuco. Giarola et al. (2002) utilizaram 18 perfis de solos de vários locais do estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Seguindo esta linha de pesquisa, Tietje et al. (1993), procurou estabelecer relações entre a capacidade de armazenamento e as propriedades físicas do solo mais facilmente determinadas, tais como textura e estrutura. Porém, a propriedade com maior interferência é a textura, que determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, resultando assim nas proporções de poros de diferentes tamanhos (REICHARDT, 1990; OSTERVELD e CHANG, 1980; SAXTON et al., 1986; ARRUDA et al., 1987; VAN DEN BERG et al., 1997; TOMASELLA et al., 2000). Outro fator mencionado é a matéria orgânica, quando coloidal, apresenta boas propriedades de retenção de água e afeta uma das principais características físicas do solo, a agregação do solo, afetando assim, indiretamente, outras características como a densidade, porosidade, aeração e infiltração de água (REICHARDT, 1990).

Utilizando estas propriedades do solo, podemos encontrar diversas pesquisas estimando a CC em relação à retenção de água sob diversas tensões e utilizando variáveis de fácil determinação como exemplos, a textura, densidade do solo e matéria orgânica (RIVERS e SHIPP, 1978; GUPTA e LARSON, 1979, RAWLS et al., 1982; AHUJA et al., 1985; SAXTON et al, 1986; ARRUDA et al., 1987; GIAROLA et al., 2002; MACEDO et al., 2002).

Macedo (1991), também estimou a retenção hídrica por correlação linear múltipla a partir de matéria orgânica e de dados físicos básicos, e obteve resultados mostrando que a textura e matéria orgânica foram os fatores primordiais quanto à caracterização da retenção de água naqueles solos.

Posteriormente, Macedo et al. (2002), obtiveram equações globais (para vários solos), através de regressão múltipla, de forma a determinar a retenção hídrica, na capacidade de campo "in situ" e em várias faixas de tensão (desde 0,006 MPa até 1,5 MPa), a partir do teor de matéria orgânica, percentagens texturais ou simplesmente, a partir da microporosidade, pois concluiu-se que estas variáveis se correlacionaram significativamente com as variáveis de retenção hídrica.

Fabian e Ottoni Filho (2000) e Thurler (2000), em estudos posteriores, em relação a equação global, determinada por Macedo et al (2002), validaram a sua utilização na determinação da CC "in situ" a partir da microporosidade (umidade a

0,006 MPa), trabalhando com um Podzólico Vermelho-Amarelo do município de Seropédica (RJ).

Entretanto, Oliveira et al. (2002) ressaltam que essas equações não devem ser empregadas indiscriminadamente, pois a sua maioria foi desenvolvida em solos de clima temperado, e que para sua utilização deve-se previamente ter calibrações locais. Afirmam ainda que a acurácia das funções de pedotransferência depende tanto da homogeneidade dos solos que compõem a base de dados para calibração, quanto da semelhança deste, com o solo a ter seus dados estimados. Salienta, também, como inconveniente no uso de pedofunções, a diferença nos métodos empregados para obtenção das variáveis dependentes e independentes.

Apesar dos métodos de laboratório serem amplamente utilizados na determinação da CC, Hillel (1980c) e Reichardt e Timm (2004) afirmam que nenhum método de laboratório é capaz de representar a dinâmica de água no perfil, ressaltando, por exemplo, que o conteúdo de água relativo ao potencial de 0,033 MPa e 0,01 MPa para solos argilosos e 0,006 MPa para solos arenosos, são apenas tensões correlacionáveis com a umidade da CC, necessitando de mensuração direta para o real valor medido. Para o método das pedofunções, essa afirmativa também é válida, uma vez que algumas delas estimam os valores da capacidade de campo como sendo a umidade a uma dada tensão de água. Na realidade, tais métodos indiretos, são tentativas de eliminar as dificuldades práticas dos procedimentos “in situ” e, com isto, conseguem estimar atributos do solo a partir de dados de fácil aquisição e transforma-los em uma informação de aplicação mais ampla, tais como aquelas que se usam na modelagem de processos no solo (WAGENET et al., 1991; BERNOUX et al., 1998).

2.9 – Umidade da curva de retenção em pontos notáveis

A curva de retenção é uma característica do solo e pode ser determinada apenas uma única vez, onde o potencial matricial é estimado pela medição da umidade do solo com o auxílio da curva de retenção (REICHARDT, 1987).

As metodologias propostas para determinação da curva de retenção em laboratório são diversas, sendo que um dos principais métodos é o da câmara de pressão de Richards (1941) e Richards e Fireman (1943).

O método de Richards(1941) consiste de uma câmara de pressão no interior da qual são fixadas de uma a três placas porosas (5 mm de espessura e 0,3 m de diâmetro), nas superfícies superiores das quais colocam-se as amostras de solo procurando-se obter o melhor contato possível solo/placa; a outra superfície da placa, a inferior, é convenientemente preparada para ficar à pressão atmosférica quando uma pressão de ar é aplicada na câmara para retirada da água da amostra (KLUTE, 1986; BACCHI et al., 1998; LIBARDI, 2000).

Ferreira e Marcos (1983) propuseram a umidade correspondente ao ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo como a capacidade de campo, sendo a curva de retenção representada matematicamente por “splines” cúbicas e obteve-se resultados significativos quando esse ponto da curva foi correlacionado com aquele parâmetro determinado “in situ” com a umidade correspondente a o potencial matricial de 6 kPa. Segundo Hornbeck (1975), o uso de “splines” pode ser complicado sob o ponto de vista matemático, o que limitaria a aplicação do método.

De acordo com Ferreira e Marcos (1983), uma outra forma de realizar a estimativa da capacidade de campo é a umidade que corresponde ao ponto de inflexão da curva de retenção representado pelo modelo de Van Genuchten (1980).

Mello et al. (2002), citam que o uso de regressão polinomial cúbica pode fornecer um bom ajuste da curva de retenção da água no solo e, por conseqüência, seria uma boa estimativa da capacidade de campo, uma vez que o cálculo da inflexão dessa curva é simples. Essa metodologia, uma vez comprovada, pode facilitar a determinação da capacidade de campo sem perder precisão considerável, já que o ajuste do polinômio pode ser feito por qualquer planilha ou programa estatístico.

Os mesmos autores trabalharam com o ponto de inflexão calculado a partir do polinômio cúbico obtido por regressão e obtiveram resultados considerados como bom estimador da capacidade de campo para o Latossolo Vermelho Distrófico típico.

3 – METODOLOGIA

Para desenvolver o presente trabalho foram utilizados dados disponíveis na literatura e relacionados ao assunto em estudo, como experimentos de drenagem interna após a saturação de um perfil de solo e curvas de retenção da água no solo.

3.1 – Obtenção dos dados

3.1.1 – Dados obtidos em Carvalho (2002)

Estes dados foram retirados de Carvalho (2002), as quais foram obtidos no município de Piracicaba no Estado de São Paulo, Brasil. As amostras, com estruturas não deformadas, foram coletadas ao longo do perfil, em uma trincheira, onde se retirou 15 amostras em cada uma das profundidades, perfazendo um total de 180 amostras. Escolheram-se aleatoriamente as amostras destinadas para as baixas e as altas tensões. Para determinação da curva de retenção da água no solo, foram utilizados funis de Haines e câmaras de pressão de Richards (Libardi, 2000). Os valores de argila, silte e areia e classe textural do perfil de um Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Valores de granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes do perfil de solo. Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico.

Prof. (m)	Horizonte	Granulometria %			Classe Textural
		Areia	Silte	Argila	
0,00 – 0,05	Ap	76,00	8,00	16,00	Franco arenosa
0,05 – 0,22	A2	76,00	8,00	16,00	Franco arenosa
0,22 – 0,48	Bw1	68,00	6,00	26,00	Franco argilo arenosa
0,48 – 0,72	Bw2	68,00	6,00	26,00	Franco argilo arenosa
0,74 – 1,00	Bw3	72,00	4,00	24,00	Franco argilo arenosa
1,01 – 1,35	Bw4	74,00	4,00	22,00	Franco argilo arenosa
1,35 +	Bw5	74,00	4,00	22,00	Franco argilo arenosa

3.1.2 – Dados obtidos em Costa (1986)

Estas amostras foram obtidas em Costa (1986), as quais foram amostradas no município de Piracicaba no Estado de São Paulo, Brasil. As amostras coletadas foram com estrutura indeformada ao longo do perfil, em uma trincheira, onde se retirou quatro repetições a cada 15 cm até uma profundidade de 150 cm. Para determinação da curva de retenção da água no solo, foram utilizados em laboratório para baixas tensões (< 1 atm) os funis de Buchner e para altas tensões (0,33 – 15 atm) foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards.

A Tabela 3.2 apresenta os resultados valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural, densidade global dos horizontes do perfil de solo.

Tabela 3.2 - Valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural e densidade global dos horizontes do perfil de solo.

Prof. (cm)	Densidade		Granulometria %			Classe textural
	partícula	solo	Areia	Silte	Argila	
15	2,83	1,54	31,93	19,52	48,55	Argiloso
30	2,79	1,43	23,80	15,19	61,01	Argiloso
45	2,81	1,40	21,38	15,00	63,62	Argiloso
60	2,80	1,38	21,65	15,39	62,96	Argiloso
75	2,74	1,25	22,27	15,57	62,16	Argiloso
90	2,75	1,23	22,05	15,99	61,96	Argiloso
105	2,78	1,20	23,60	17,01	59,39	Argiloso
120	2,78	1,23	24,01	17,64	58,35	Argiloso
135	2,79	1,21	24,45	17,98	57,57	Argiloso
150	2,79	1,21	24,78	18,95	56,27	Argiloso

3.1.3 – Dados obtidos em Saunders (1978)

Os dados obtidos neste trabalho foram coletados no campo experimental da ESALQ, em Piracicaba, SP. O solo desta área pertence ao grupo Terra Roxa Estruturada, de acordo com o grande grupo (RANZANI et al., 1966).

A Tabela 3.3 apresenta os valores da densidade do solo, da granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes do perfil de solo.

Tabela 3.3 - Valores da densidade do solo, da granulometria (areia, silte e argila) e classe textural dos horizontes do perfil de solo.

Prof. (cm)	Densidade do solo	Granulometria %			Classe textural
		Areia	Silte	Argila	
0 - 30	1,31	23,00	17,00	60,00	Argila
30 - 60	1,35	14,00	23,00	63,00	Argila
60 - 90	1,20	19,00	26,00	55,00	Argila
90 - 120	1,18	22,00	26,00	52,00	Argila
120 - 150	1,11	22,00	24,00	54,00	Argila
150 - 180	1,14	23,00	28,00	49,00	Argila

3.1.4 – Dados obtidos em Libardi (1978)

Os dados obtidos em Libardi (1978) se referem a dois tipos de solo: o solo terra roxa estrutura e o solo vermelho amarelo fase-arenosa.

3.1.4.1 - Solo terra roxa estruturada

Estas amostras foram obtidas em Libardi (1978), as quais foram amostradas no município de Piracicaba no Estado de São Paulo, Brasil. As amostras coletadas foram com estrutura indeformada ao longo do perfil, em uma trincheira, onde se retirou amostras em um perfil de solo até uma profundidade de 165 cm. Para determinação da curva de retenção da água no solo, foram utilizados em laboratório para baixas tensões (-26, -46, -97, -141 e -187 cm de H₂O) os funis de Buchner e para altas tensões (-300, -500 e -800 cm H₂O) foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards.

A Tabela 3.4 apresenta os valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural e densidade global dos horizontes do perfil de solo.

Tabela 3.4 - Valores de granulometria (areia, silte e argila), classe textural dos horizontes do perfil de solo e densidade global do perfil de solo.

Prof. (m)	Densidade do solo	Granulometria %			Classe textural
		Areia	Silte	Argila	
15	1.579	41,40	12,90	45,70	Argila
45	1.500	30,30	11,60	58,10	Argila
75	1.350	30,00	13,00	57,00	Argila
105	1.277	32,90	14,00	53,10	Argila
135	1.216	34,30	14,40	51,30	Argila
165	1.213	35,80	13,20	51,00	Argila

3.1.4.2 – Solo vermelho amarelo fase-arenosa

Estas amostras foram obtidas em Libardi (1978), as quais foram amostradas no município de Piracicaba no Estado de São Paulo, Brasil.

As amostras coletadas foram com estrutura indeformada ao longo do perfil, em uma trincheira, onde se retirou amostras em um perfil de solo até uma profundidade de 165 cm. Para determinação da curva de retenção da água no solo, foram utilizados em laboratório para baixas tensões (-26, -46, -97, -141 e -187 cm de H₂O) os funis de Buchner e para altas tensões (-300, -500 e -800 cm H₂O) foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards.

A Tabela 3.5 apresenta os valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.

Tabela 3.5 - Valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.

Prof. (m)	Densidade do solo	Granulometria %			Classe textural
		Areia	Silte	Argila	
15	1,51	77,11	4,72	18,17	Franco Arenoso
30	1,44	67,90	14,22	27,88	Franco Argilo Arenoso
45	1,40	67,89	5,29	26,82	Franco Argilo Arenoso
60	1,35	68,97	3,93	27,10	Franco Argilo Arenoso
75	1,35	68,81	3,08	28,11	Franco Argilo Arenoso
90	1,36	68,97	3,21	27,82	Franco Argilo Arenoso
105	1,41	68,48	5,32	26,20	Franco Argilo Arenoso
120	1,40	68,08	3,61	28,31	Franco Argilo Arenoso
135	1,37	68,02	5,20	26,78	Franco Argilo Arenoso

3.1.5 – Dados obtidos em Prevedello (1979)

Estas amostras foram obtidas em Cho et al. (1976), referenciado por Prevedello (1979), as quais foram amostradas na região de Tottori, Japão.

A Tabela 3.6 apresenta os valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.

Tabela 3.6 - Valores da densidade de partícula, densidade do solo, distribuição granulométrica e classe textural do solo.

Prof. (cm)	Densidade		Granulometria %			Classe textural
	partícula	solo	Areia	Silte	Argila	
10	2.71	1.55	97,84	3,07	0,62	Areia
30	2.76	1.47	97,68	1,16	2,85	Areia
50	2.71	1.56	97,77	0,71	2,76	Areia
70	2.71	1.56	99,48	0,18	2,62	Areia
90	2.73	1.46	97,99	0,53	3,33	Areia
120	2.73	1.42	97,72	0,40	3,29	Areia

A Figura 3.1 mostra a distribuição das classes texturais dos solos utilizados para o desenvolvimento desse trabalho.

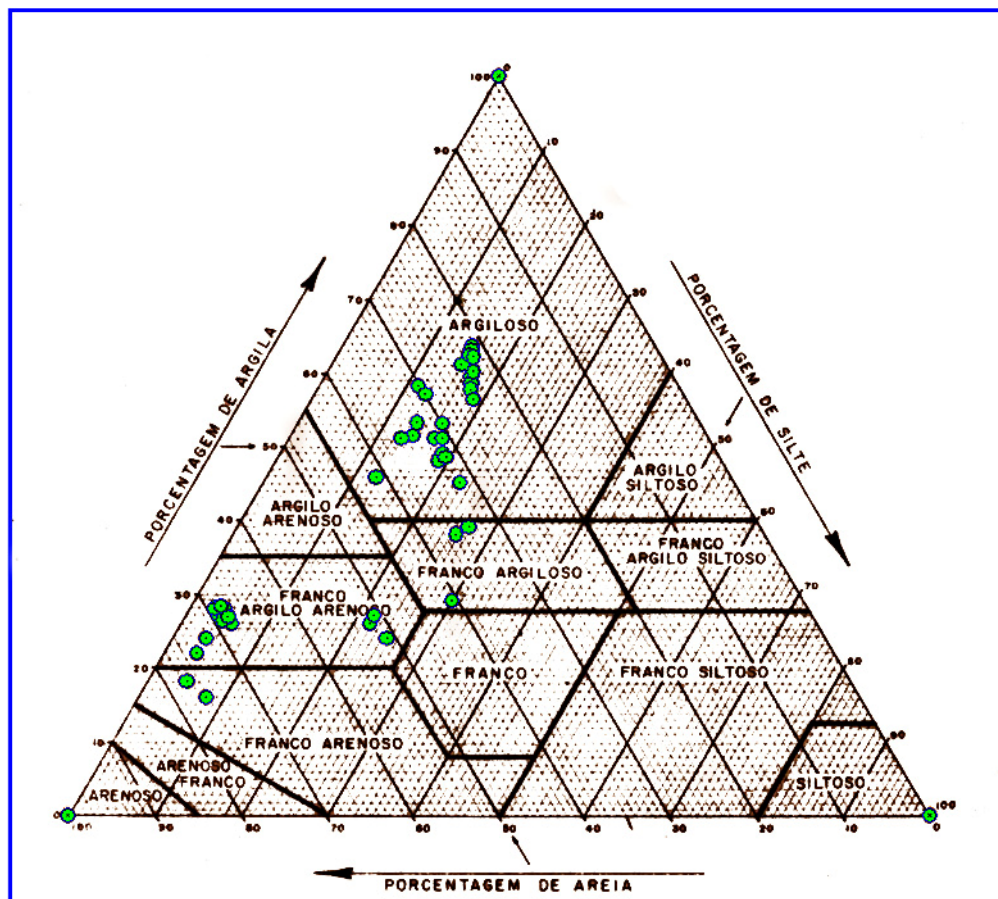


Figura 3.1 – Distribuição das classes texturais dos solos utilizados.

3.2 – Capacidade de campo obtida através dos experimentos no campo

3.2.1 – Ajuste da umidade volumétrica em relação ao tempo

O modelo matemático utilizado na representação da variação da umidade volumétrica em relação ao tempo de drenagem foi do tipo:

$$\theta = a + b \ln (1 + ct) \quad [3.1]$$

onde θ é a umidade volumétrica (m^3/m^3), t o tempo de drenagem (h) da água no solo e \ln o operador neperiano e os fatores a, b, c são coeficientes do modelo.

3.2.2 – Determinação da umidade em capacidade de campo

A umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo foi obtida adotando-se na equação [3.1] e o tempo igual a 24 h:

$$\theta = a + b \ln (1 + 24c) \quad [3.2]$$

onde θ é a umidade volumétrica (m^3/m^3) correspondente a capacidade de campo.

3.3 – Capacidade de campo estimada com a metodologia proposta

A estimativa da capacidade de campo se baseia na umidade do solo correspondente ao ponto de inflexão do modelo matemático escolhido para representar a curva de retenção da água no solo.

3.3.1 – Ajuste da curva de retenção da água no solo

O modelo matemático escolhido para representar a curva de retenção da água no solo é do tipo polinomial de 3ª ordem:

$$\ln(h+1) = d + d\theta + f\theta^2 + g\theta^3 \quad [3.3]$$

onde θ é a umidade volumétrica (m^3/m^3), h o potencial matricial (kpa) da água no solo, \ln o operador neperiano, os d, f, g são coeficientes do modelo.

3.3.2 – Determinação da umidade em capacidade de campo

Segundo Granville et al. (1961), o ponto de inflexão da curva de retenção $h = f(\theta)$, pode ser determinado por:

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = 0 \quad [3.4]$$

na qual $d^2h/d\theta^2$ a derivada segunda da curva de retenção da água no solo.

Derivando o modelo matemático escolhido para representar a curva de retenção da água duas vezes em relação a variável dependente (umidade volumétrica) e igualando o resultado a zero, obtemos:

$$\theta = -\frac{f}{3g} \quad [3.5]$$

onde θ é a umidade volumétrica (m^3/m^3) correspondente a capacidade de campo.

3.4 – Análise dos dados

Foi feita uma análise comparativa entre os valores da umidade volumétrica obtidas através dos experimentos no campo e os valores da umidade volumétrica

estimados com a metodologia proposta e utilizando os diferentes modelos de ajuste da curva de retenção da água no solo.

Para realizar a comparação foi feita análise de regressão entre os valores da capacidade de campo pelos diferentes procedimentos com o objetivo de se obter o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância de Wilmont (c).

O coeficiente de correlação (r) permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998), sendo seu campo de variação de -1 a 1 e quanto maior o seu valor absoluto maior o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados.

O coeficiente de correlação r pode ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - E)] [\sum_{i=1}^n (O_i - O)]}} \quad [3.6]$$

Onde E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, E a média dos valores estimados e O a média dos valores observados.

O índice de concordância (c) fornece o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, uma vez que está relacionada a diferença entre os valores estimados em relação aos valores observados, sendo seu campo de variação de 0 (nenhuma concordância) a 1 concordância perfeita (WILLMONT, 1981).

O índice de concordância pode ser calculado pela expressão:

$$I_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - E|^2 + |O_i - O|^2)} \quad [3.7]$$

Onde E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, E a média dos valores estimados e O a média dos valores observados.

Conhecendo-se esses indicadores foi determinado o índice de desempenho I_d , segundo Camargo e Sentelhas (1997), pode ser calculado por:

$$Id = r c \quad [3.8]$$

O índice Id tem a finalidade de avaliar o desempenho do método utilizado, considerando as seguintes classes de interpretação (Tabela 3.7), de acordo com Costa (2004).

Tabela 3.7 - Classificação para o índice de desempenho do método utilizado.

Classes	Valores de Id	Desempenho
1	> 0.85	Ótimo
2	0.76 a 0.85	Muito Bom
3	0.66 a 0.75	Bom
4	0.61 a 0.65	Regular
5	0.51 a 0.60	Fraco
6	0.41 a 0.50	Muito Fraco
7	< 0.41	Péssimo

A tabela 3.7 possibilita classificar o índice de desempenho dos resultados obtidos pela aplicação das equações do método utilizado.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo tem a finalidade de mostrar os resultados obtidos nas diversas fases, de modo seqüencial, para comparar valores estimados pelo modelo de cálculo desenvolvido e os valores obtidos experimentalmente de modo a verificar a validade da metodologia proposta neste estudo.

4.1 - Dados obtidos em Carvalho (2002)

A Tabela 4.1 apresenta os valores dos coeficientes que representam a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do perfil do solo Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico.

Tabela 4.1 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.

Prof. (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r^2	d	e	f	g	r^2
10	0,40	-0,01	107850,91	0,9893	21,36	-230,49	905,23	-1240,96	0,9867
20	0,35	-0,01	167,35	0,9796	28,16	-338,46	1429,82	-2055,52	0,9867
30	0,28	-0,01	0,21	0,9947	10,27	-90,90	331,23	-464,77	0,9625
40	0,28	-0,01	1,01	0,9986	33,43	-375,24	1427,80	-1809,04	0,9660
50	0,31	-0,02	1,97	0,9985	10,18	-104,99	417,70	-584,70	0,9493
60	0,31	-0,01	8,65	0,9990	13,21	-147,35	600,34	-835,14	0,9613
70	0,29	-0,01	2,26	0,9987	7,25	-63,68	220,89	-279,46	0,9755
80	0,43	-0,02	12064,61	0,9898	9,72	-96,37	358,49	-467,29	0,9315
90	0,38	-0,02	142,70	0,9970	12,87	-133,87	499,83	-630,90	0,9961
100	0,41	-0,02	1088,62	0,9869	11,23	-111,12	400,95	-497,32	0,9903
110	0,33	-0,02	1,29	0,9978	8,92	-86,91	320,02	-408,24	0,9612
120	0,50	-0,02	15005,53	0,9834	8,98	-88,00	326,61	-417,68	0,9510

Como pode ser visto na Tabela 4.1, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 e os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 são bastante elevados, sendo em todos os casos superiores a 93%, o que colabora para o fato de poderem-se substituir os dados experimentais por suas estimativas a partir das equações ajustadas (equações 3.1 e 3.3).

A Tabela 4.2 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.2 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Prof. (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
10	0,2642	0,2432	0,0105
20	0,2530	0,2319	0,0106
30	0,2655	0,2376	0,0140
40	0,2302	0,2631	0,0165
50	0,2401	0,2381	0,0010
60	0,2296	0,2396	0,0050
70	0,2320	0,2635	0,0158
80	0,2166	0,2557	0,0196
90	0,2309	0,2641	0,0166
100	0,2152	0,2687	0,0268
110	0,2259	0,2613	0,0177
120	0,2329	0,2606	0,0139

Como pode ser visto na tabela 4.2, a equação 3.2 representada por $\theta = a + b \ln(1 + 24c)$ e a equação 3.5 representada pela equação $\theta = -\frac{f}{3g}$, onde se analisou um perfil de solo de 10 cm a 120 cm de profundidade. Analisou-se ainda o desvio médio (D.M.) entre os resultados da equação padrão e a equação proposta, sendo que o máximo desvio encontrado foi de 0,0268 relativa à camada de 100 cm de profundidade.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, pode ser vista na figura 4.1.

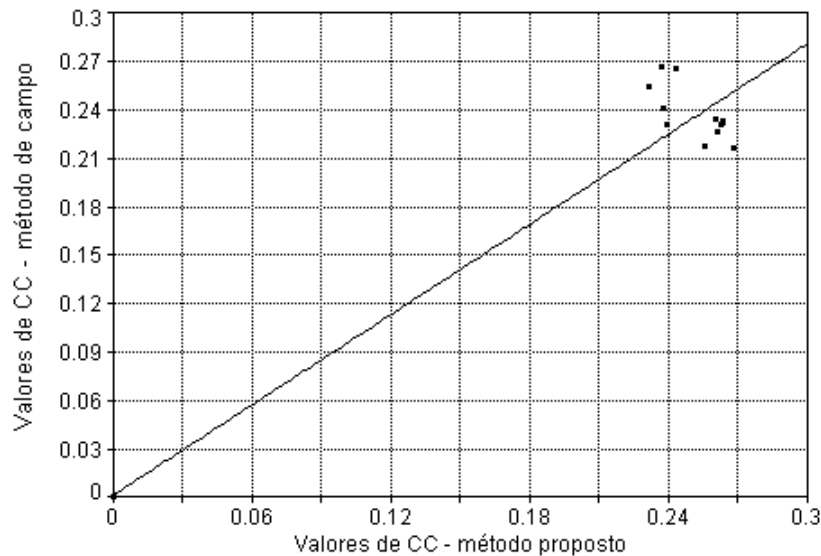


Figura 4.1 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo Latossolo vermelho amarelo distrófico argissólico (CARVALHO, 2002).

4.2 - Dados obtidos em Costa (1986)

A Tabela 4.3 apresenta os valores dos coeficientes que representam a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do solo terra roxa estruturada.

Tabela 4.3 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.

Prof. (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r ²	d	e	f	g	r ²
30	0,50	-0,01	1,32	0,9995	43,52	-302,24	729,57	-608,69	0,9867
45	0,50	-0,01	0,58	0,9944	59,59	-409,40	972,49	-783,57	0,9867
60	0,47	-0,01	14,99	0,9768	48,73	-337,72	821,47	-681,94	0,9625
75	0,43	-0,01	38,37	0,9889	51,37	-342,02	799,49	-646,13	0,9660
90	0,47	-0,01	46,40	0,9729	72,20	-521,59	1283,38	-1063,65	0,9493
105	0,43	-0,01	12,32	0,9484	48,41	-346,43	844,87	-689,02	0,9613
120	0,43	-0,01	8,50	0,9631	34,59	-243,90	593,57	-487,40	0,9755
135	0,49	-0,01	232,68	0,9995	31,24	-220,26	539,42	-445,37	0,9315

Como pode ser visto na Tabela 4.3, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 e os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 são bastante elevados, sendo em todos os casos superiores a 93%, o que colabora para o fato de poderem-se substituir os dados experimentais por suas estimativas a partir das equações ajustadas (equações 3.1 e 3.3).

A Tabela 4.4 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.4 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Prof. (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
30	0,4727	0,3995	0,0366
45	0,4796	0,4137	0,0330
60	0,4348	0,4015	0,0167
75	0,3844	0,4125	0,0141
90	0,3863	0,4022	0,0080
105	0,3629	0,4087	0,0229
120	0,3653	0,4059	0,0203
135	0,3853	0,4037	0,0092

Na tabela 4.4 os valores representam um perfil de solo nas profundidades de 30 a 135 cm, onde os valores de capacidade de campo encontrados são resultantes da

aplicação das equações 3.2 e 3.5. As maiores variações encontradas (D.M.) neste perfil se deu nas camadas mais superficiais, nas profundidades de 30 e 45 cm com respectivas variações de 0,0366 e 0,0330. Não foi encontrada relação com a textura do solo, para este maior desvio médio.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, pode ser vista na figura 4.2.

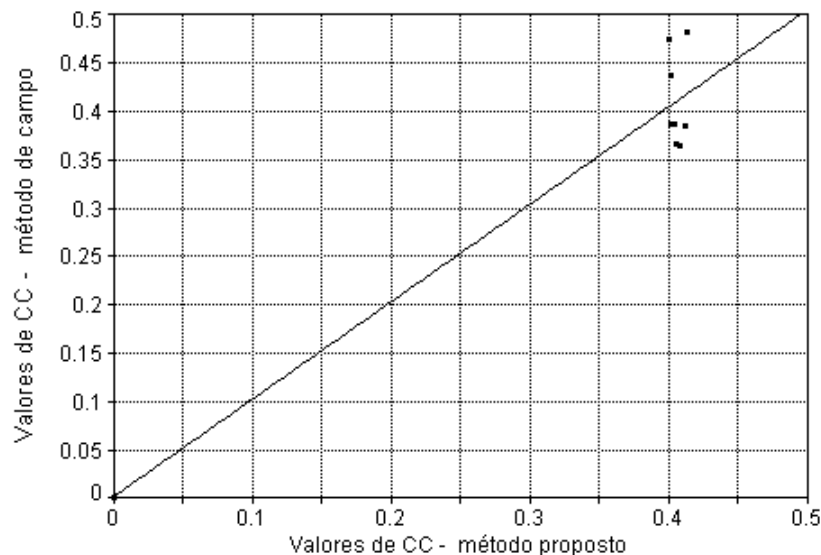


Figura 4.2 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (COSTA, 1986).

4.3 - Dados obtidos em Saunders (1978)

A Tabela 4.5 apresenta os valores dos coeficientes que representa a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do solo terra roxa estruturada.

Tabela 4.5 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.

Prof. (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r ²	d	e	f	g	r ²
60	0,33	-0,005	1,28	0,7171	2,24	46,07	164,37	176,89	0,9099
90	0,32	-0,01	0,44	0,8872	2,24	46,07	164,37	176,89	0,9099
120	0,47	-0,01	1222,34	0,9470	2,24	46,07	164,37	176,89	0,9099

Como pode ser visto na Tabela 4.5, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 e os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 são bastante elevados, sendo em todos os casos superiores a 70%, o que colabora para o fato de poderem-se substituir os dados experimentais por suas estimativas a partir das equações ajustadas (equações 3.1 e 3.3).

A Tabela 4.6 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.6 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Prof. (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
60	0,3127	0,3097	0,0015
90	0,2955	0,3097	0,0071
120	0,3320	0,3097	0,0112

Os valores encontrados na tabela 4.6, demonstram a aplicação das equações 3.2 e 3.5 para um perfil de solo de 60 cm a 120 cm de profundidade. Neste perfil pode-se verificar que o desvio médio aumenta gradativamente no decorrer da profundidade do solo.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade

volumétrica correspondentes a CC calculados pelo método de campo (equação 3.2), pode ser vista na figura 4.3.

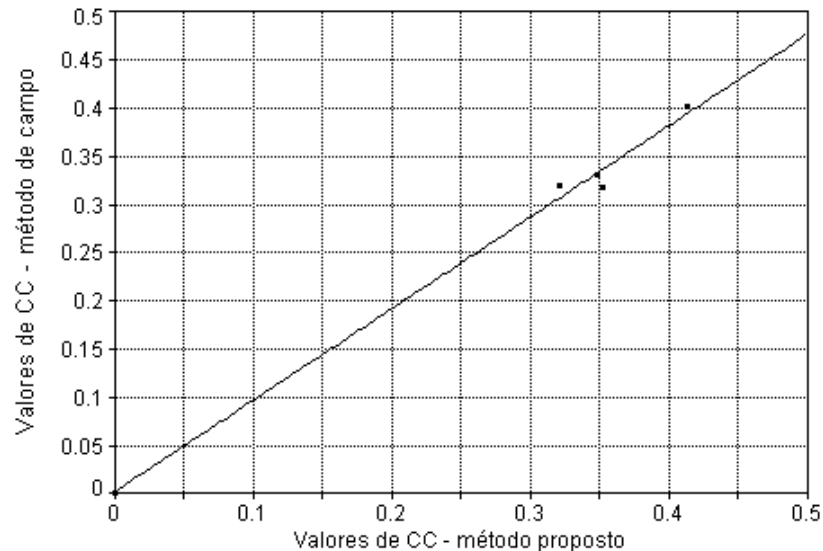


Figura 4.3 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (SAUNDERS, 1978).

4.4 - Dados obtidos em Libardi (1978)

A comparação entre os métodos de estimativa da CC foi aplicada a dois tipos de solo: o solo terra roxa estruturada e o solo vermelho amarelo, fase arenosa.

4.4.1 – Solo terra roxa estruturada

A Tabela 4.7 apresenta os valores dos coeficientes que representa a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do solo terra roxa estruturada.

Tabela 4.7 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do solo.

Prof. (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r^2	d	e	f	g	r^2
20	0,31	0,00	5,85	0,9446	-5264,28	53121,36	-178175,59	198699,40	0,9388
45	0,31	0,00	5,18	0,9708	-39589,15	398125,73	-1333600,00	1488110,00	0,9863
75	0,37	0,00	0,66	0,9647	8130,85	-68155,52	190715,62	-178119,28	0,9727
105	0,34	-0,01	0,54	0,9590	-614,33	5977,46	-19136,42	20206,09	0,9836
115	0,35	-0,01	1,57	0,9675	22,40	-141,00	341,22	-343,18	0,9660
165	0,38	-0,02	0,28	0,9777	384,79	-3445,19	10378,50	-10474,59	0,9924

Como pode ser visto na Tabela 4.7, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 e os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 são bastante elevados, sendo em todos os casos superiores a 93%, o que colabora para o fato de poderem-se substituir os dados experimentais por suas estimativas a partir das equações ajustadas (equações 3.1 e 3.3).

A Tabela 4.8 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.8 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Prof. (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
20	0,3026	0,2989	0,0018
45	0,3016	0,2987	0,0014
75	0,3630	0,3569	0,0031
105	0,3174	0,3157	0,0009
115	0,3002	0,3314	0,0156
165	0,3375	0,3303	0,0036

A tabela 4.8 apresenta valores referentes a um perfil de solo nas profundidades de 20 a 165 cm. Os resultados das equações tiveram variações no desvio médio em todo o perfil do solo analisado.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade

volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, pode ser vista na figura 4.4.

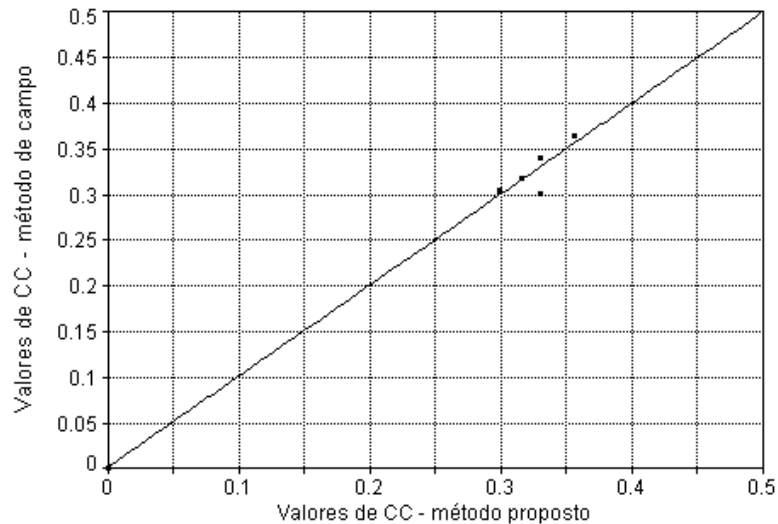


Figura 4.4 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo terra roxa estruturada (LIBARDI, 1978).

4.4.2 – Solo vermelho amarelo, fase arenosa

A Tabela 4.9 apresenta os valores dos coeficientes que representa a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do solo **vermelho amarelo, fase arenosa**.

Tabela 4.9 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.

Prof. (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r ²	d	e	f	g	r ²
15	0,394	-0,022	28,031	0,975	-0,076	69,215	-389,676	543,132	0,9911
30	0,396	-0,021	1,715	0,991	-38,415	409,716	-1310,707	1310,301	0,9795
60	0,426	-0,028	1,660	0,997	-4,190	83,345	-299,060	292,526	0,9805
75	0,400	-0,031	3,361	0,993	6,682	-25,735	22,0429	-5,334	0,9826
90	0,388	-0,023	9,424	0,989	1,352	47,905	-286,270	392,128	0,9874
105	0,390	-0,024	11,874	0,965	20,005	-147,846	376,435	-337,053	0,9841
120	0,399	-0,028	3,378	0,993	5,962	-11,698	-35,055	60,946	0,9790
135	0,395	-0,026	4,199	0,989	10,981	-60,659	117,874	-94,885	0,9801

Como pode ser visto na Tabela 4.9, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 são bastante elevados, sendo na maioria dos casos superiores a 95%, mas em duas situações isso não ocorreu, isto é, nas profundidades de 30cm (42,60%) e 105 cm (65,10%). Os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 foram em todos os casos superiores a 94%.

A Tabela 4.10 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.10 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Profundidade (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
15	0,2390	0,2390	0,0000
30	0,3080	0,3330	0,0125
45	0,2750	0,2770	0,0010
60	0,3010	0,3410	0,0200
75	0,2380	0,3780	0,0700
90	0,2460	0,2430	0,0015
105	0,2410	0,3720	0,0655
120	0,2560	0,1920	0,0320

A tabela 4.10 demonstra um perfil de solo nas profundidades de 15 a 120 cm, onde aplicou-se as equações 3.2 e 3.5, obteve-se valores de CC com pequenos desvios médios entre o método de campo e o método proposto, sendo que as maiores variações ocorreram nas profundidades de 75 cm (0,0700) e 105 cm (0,0655), sem uma relação visível com a textura do solo.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, pode ser vista na figura 4.5.

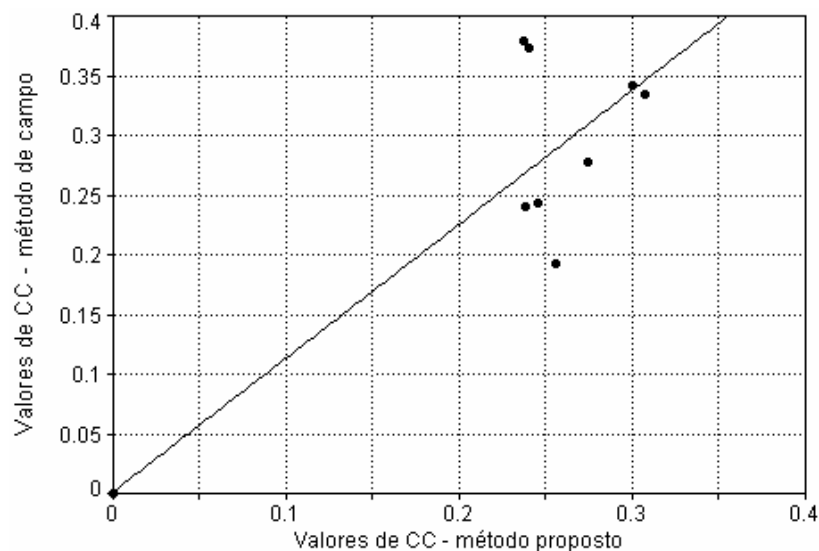


Figura 4.5 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo vermelho amarelo, fase arenosa (LIBARDI, 1978).

4.5 – Dados obtidos por Cho et al. (1976)

A Tabela 4.11 apresenta os valores dos coeficientes que representam a variação da umidade volumétrica e o tempo de drenagem ajustados a partir dos dados de campo (equação 3.1) e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 , bem como os valores dos coeficientes da curva de retenção ajustada (equação 3.3) entre os valores a umidade volumétrica e o potencial matricial e seu respectivo coeficiente de determinação r^2 para as diferentes profundidades do solo **Dunas de areia**.

Tabela 4.11 - Valores dos coeficientes da equação 3.1, dos coeficientes da equação 3.3 e seus respectivos coeficientes de determinação para as diferentes profundidades do perfil do solo.

Profundidade (cm)	$\theta = a + b \ln(1 + c t)$				$\log h = d + e\theta + f\theta^2 + g\theta^3$				
	a	b	c	r ²	d	e	f	g	r ²
10	0,24	-0,01	216978,32	0,9795	12,31	-304,14	2832,02	-9764,15	0,9939
20	0,30	-0,01	3444310,00	0,9727	13,06	-281,36	2223,97	-6427,97	0,9987
40	0,24	-0,01	5058,13	0,9583	14,11	-277,81	1961,75	-4963,84	0,9995
60	0,27	-0,01	3802,00	0,9713	10,81	-176,23	1054,64	-2370,97	0,9945
80	0,29	-0,02	2170,20	0,9848	13,86	-237,51	1526,54	-3574,40	0,9988
100	0,34	-0,02	25927,18	0,9799	13,54	-225,81	1402,41	-3173,53	0,9988
140	0,30	-0,02	4103,57	0,9682	11,14	-167,19	917,69	-1868,22	0,9970

Como pode ser visto na Tabela 4.11, os valores dos coeficientes de determinação relativos a equação 3.1 e os valores do coeficiente de determinação relativos a equação 3.3 são bastante elevados, sendo em todos os casos superiores a 95%, o que colabora para o fato de poderem-se substituir os dados experimentais por suas estimativas a partir das equações ajustadas (equações 3.1 e 3.3). A Tabela 4.12 apresenta os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, bem como os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4.12 - Valores da CC calculados pela equação 3.2 e pela equação 3.5 para as diferentes profundidades do perfil do solo e o respectivo desvio médio (D.M.).

Prof. (cm)	Capacidade de campo θ_{cc}		
	Equação 3.2	Equação 3.5	D. M.
10	0,0776	0,0967	0,0096
20	0,0860	0,1153	0,0147
40	0,0932	0,1317	0,0193
60	0,1008	0,1483	0,0238
80	0,1116	0,1424	0,0154
100	0,1115	0,1473	0,0179
140	0,1091	0,1637	0,0273

Os valores apresentados na tabela 4.12, são resultados da avaliação de um perfil de solo nas profundidades de 10 a 140 cm. Os resultados obtidos possuem uma boa relação do método de campo com o proposto, podendo este, ser utilizado, com pequenos desvios médios superestimados e com maiores alterações nas profundidades de 60 cm (0,0238) e 140 cm (0,0273), para este caso.

A relação gráfica entre os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a metodologia proposta (equação 3.5) e os valores da umidade volumétrica correspondentes a CC calculados com a equação 3.2, pode ser vista na figura 4.6.

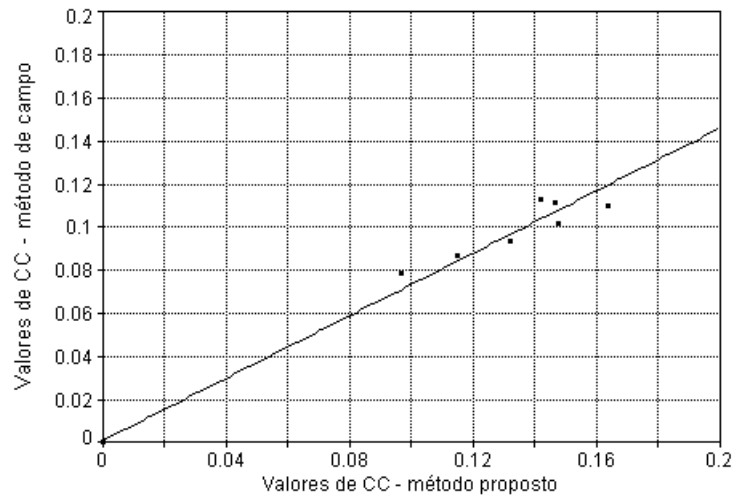


Figura 4.6 - Relação entre os valores da CC estimados por diferentes métodos para o solo Dunas de areia (CHO et al., 1976).

4.6 – Avaliação do desempenho do método proposto

A Tabela 4.13 apresenta a fonte de onde foram obtidos os dados, a origem dos dados da curva de retenção (laboratório ou campo com tensiômetros), o coeficiente angular **b**, o coeficiente de correlação **r**, o índice de concordância de Wilmont **c**, o índice de desempenho **Id** e a classe de desempenho qualitativo da comparação entre os valores da CC estimados pelo método proposto e os valores da CC obtidos no método de campo em relação a diferentes fontes de dados (e tipos de solo).

As classes de desempenho na avaliação da metodologia proposta para a estimativa da CC em função do ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo (modelada por um polinômio de 3° grau) podem ser vistos na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Valores de coeficiente angular b , o coeficiente de correlação r , o índice de concordância de Wilcoxon c , o índice de desempenho Id e a classe de desempenho qualitativo.

Fonte de dados	Origem CR	b	r	c	Id	Classe de Desempenho
Carvalho (2002)	Campo	0,9323	0,9942	0,8150	0,81	Muito Bom
Costa (1986)	Laboratório	1,0066	0,9941	0,1583	0,16	Péssimo
Saunders (1978)	Campo	1,0119	0,9989	0,9074	0,91	Ótimo
Libardi (1978) TRE	Campo	0,9951	0,9991	0,9028	0,90	Ótimo
Libardi (1978) VAFA	Campo	1,0261	0,9761	0,9850	0,96	Ótimo
Cho et al (1976)	Campo	0,7255	0,9977	0,4455	0,44	Muito Fraco

Como pode ser observado na Tabela 4.13, os melhores desempenhos, de uma maneira geral, se referem às fontes de dados que utilizaram para a determinação da curva de retenção da água no solo valores obtidos com a instalação de tensiômetros no campo, exceção ocorrida para o caso da fonte de dados de Cho et al. (1976) que utilizou amostras de dunas de areia em seu experimento.

Os resultados apresentaram classes de desempenho ótimo e muito bom (66,5%), muito fraco (16,6%) e péssimo (16,6%).

Os resultados encontrados demonstram que a fonte de dados onde foi utilizado o método laboratório para determinação da curva de retenção (Costa 1986) não respondeu satisfatoriamente a metodologia proposta. Assim como o método de campo onde se utilizou dunas de areia (Cho et al. (1976) para a determinação da curva de retenção também não apresentou bons resultados, provavelmente por este não ser um solo estruturado.

Sendo assim, de maneira geral, os melhores desempenhos encontrados na estimativa da capacidade de campo em função do ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo, foram os métodos de campo utilizando tensiômetros na determinação da curva de retenção, com exceção feita às dunas de areia de Cho et al. (1976).

5 – CONCLUSÕES

Segundo a metodologia neste estudo e os resultados obtidos, foi possível concluir que:

A avaliação da metodologia, para a estimativa da capacidade de campo em função do ponto de inflexão da curva de retenção, quando modelada por um polinômio de 3° grau, apresentou classe de desempenho ótimo e muito bom (66,5%), muito fraco (16,6%) e péssimo (16,6%).

Através destes resultados podemos afirmar que a metodologia aplicada apresentou resultados consistentes para a maioria dos dados avaliados das curvas de retenção determinadas a campo, podendo ser esta uma alternativa para estimativa da umidade referente à Capacidade de Campo.

A aplicação da metodologia para os dados da curva de retenção elaborada em laboratório e a curva de retenção elaborada em campo com amostras de dunas de areia, completamente desestruturado, não responderam satisfatoriamente a metodologia; em virtude do baixo volume de informações e repetições não foi possível fazer uma análise conclusiva para os mesmos.

Como sugestões para trabalhos futuros, poderão ser utilizados novos bancos de dados com curvas de retenção elaboradas em laboratório para que se possa confirmar ou não a aplicação da metodologia utilizada para esta situação.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO, M.; RITCHIE, J. T. Small spatial scale soil water content measurement with time-domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, n.2, p.325- 329, 1995.

ANDRADE, C. L. T.; FREITAS, J. A. D.; LUZ, L. R. Q. P. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiro litorâneos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Natal. **Anais ... Natal: ABID**, 1991. v. 1, p. 1069-1095.

ANDRADE, C. L. T. et al. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: FARIA, M. A. et al. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 1-132.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 2, p.337-345, 2004

ASSIS JÚNIOR, R. N.; REICHARDT, K. Determinação do potencial mátrico da água no solo por tensiômetro de câmara de ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-Rom

AHUJA, L.R.; NAMEY, J.W.; WILLIAMS, R.D. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, n.5, p.1100-1105, 1985

ARRUDA, F.B.; ZULLO JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.11-15, 1987.

BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. J. C. M.; NIELSEN, D. R. Gammaray beam attenuation as an auxiliary technique for the evaluation of soil water retention curve. **Scientia Agrícola**, v.55, n.3, p.499-502, 1998.

BAKER, J.M.; ALLMARRAS, R.R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by Time Domain Reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, n.1, p.1-6. 1990.

BAYER, L.D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4th ed. New York: John Wiley C. Sons, 1972.

BARRETO, G. B. **Elementos de Irrigação**: projeto para a Irrigação do cafeeiro. São Paulo: Agronômica Ceres, 1957. 139 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. ed. Viçosa, UFV, 1987. 488 p.

BERNOUX, M. et al. Bulk densities of Brazilian Amazon soil related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, n.3, p.743-749, 1998

BOUYOUCOS, G.J. and MICK, A. h. An Electrical Resistance Method for the continuous Measurement of Soil Moisture under Field Conditions. **Michigan AGRICULTURAL EXPERIMENT Station, Technical Bul.** 172, 1940

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advanced Soil Science** v.9, p.177-213, 1989.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.

CAMARGO, A.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desenvolvimento de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p. 89-97. 1997

CAMPBELL G., Modeling Available Soil Moisture **Decagon Devices**, 2006. Disponível em www.decagon.com. Acesso em 20 de dezembro de 2007.

CARVALHO, E.F. de; SILVA, R.F. da. Como determinar o ponto de murcha permanente pelo método fisiológico. Rio Branco: Universidade Federal do Acre-DCAPET. 1999. 23 p.

CARVALHO L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo- as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. **Field capacity and available water capacity.** In- **KLUTTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.** 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of Agronomy, 1986. p.901-926.

COELHO, E.F.; OR, D. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n. 4, p.1039- 1049.1996.

COELHO, E.F.et al. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade TRASE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.81-87, 2001.

CHO, T. et al. **The use of neutron moisture meter in studies of soil water regimes.** **Water management in a sand Dune area**, Tottori: University, Faculty of Agriculture. 1976. 48 p.

CONCIANI, W. et al. Emprego de TDR com sondas multihastes segmentadas para medida de umidade de um perfil de solo. In- SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1997, São Carlos, **Anais...** São Carlos- EMBRAPA-CNPq, 1997. p.169-173.

COSTA A. C. S. Balanço Hídrico em culturas de Feijão. 1986. 161 f. Dissertação (mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1986.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem.** 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. 543 p. v.3

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1979

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. p. 13-14. (Documentos / Embrapa Solos; n. 45).

FABIAN, A.J.; OTTONI FILHO, T.B. Determinação de capacidade de campo *in situ* ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.1029-1036, 2000.

FERREIRA, M.M.; MARCOS, Z.Z. Estimativa da capacidade de campo de latossolo roxo distrófico e regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**, v.7, n.1 p. 96-101, 1983.

IRRROMETER. Sensor Watermark. Consult. 2007-12-22. Disponível em https://sslrelay.com/www.dmaonline.co.uk/sess/utn;jsessionid=1547bb139076ad8/shopdata/product_overview.shopscrip.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e intrínsecas de solos do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.885-893, 2002

GUPTA, S.C.; LARSON, W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. **Water Resources Research**, v.20, p.1633-1635, 1979.

GRANVILLE, W.A.; SMITH, P.F. & LONGLEY, W.R. Elementos de Cálculo diferencial e integral. Rio de Janeiro, Ed. Científica, 1961. 702p.

HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil- V. The hysteresis effect in capillary properties and the modes of moisture associated therewith. **Journal of Agricultural Science**. v.20, p.97 – 116, 1930.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, 1980c. cap. 2,4, 8, 12 e 13.

HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J. Marked differences between van Genuchten soil water-retention parameters for temperature and tropical soils- A new water-retention pedo-transfer functions developed for tropical soils. **Geoderma**, v.108, p.155-180, 2002.

HORNBECK, R. W. **Numerical methods**. New York: Quantum, 1975. 310 p.

JONG VAN LIER, Q. Índices da disponibilidade de água para as plantas, In Novais, R. F. ALVARES V., V. H. E. SCHAEFER, C. E. G. R., eds **Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, p.95-106, 2000.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo – planta**. São Paulo: Ed. Agrômica Ceres, 1979. cap. 6 e 13.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984

_____. **Irrigação - Frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1998.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. H. Hydraulic conductivity and diffusivity- Laboratory methods. In- KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. cap. 28, p 687-732.

LEÃO, T.P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.3, p. 415-423, 2004.

LIBARDI, P. L. **Condutividade hidráulica do solo em condições de campo**. 1978. 113 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1978.

_____. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: [s.n], 1995. 497 p.

_____. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: Ed. do Autor, 1999. 501 p.

_____. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Ed. do Autor, 2000. 509 p.

MACEDO, J.R. **Determinação de retenção hídrica por correlação múltipla e de variabilidade espacial em solos podzólicos de Seropédica, RJ**. 1991. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

MACEDO, J. R. et al. Estimation of Field Capacity and Moisture Retention Based on Regression Analysis Involving Chemical and Physical Properties in Alfisols and Ustisols of the State of Rio de Janeiro. **Soil Science. Plant Anal**, v. 33 (13 and 14), pp. 2037-2055, 2002.

MANTOVANI, E.C., MILLAGRES, N.N., OLIVEIRA, R.A. **Uso do DUPEA para determinação do teor de umidade do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1986. 15 p.

MELLO, C. R. de et al. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.4, p.836-841, 2002b.

MELLO, C.R. de et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, pp. 1319-1324, 2002.

MORAES B. N. et al Avaliação de cápsulas de cerâmica e instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.58–63, 2006

CAMPBELL G., Modeling Available Soil Moisture **Decagon Devices**, 2006. Disponível em www.decagon.com. Acesso em 20 de dezembro de 2007.

MUÑOZ-CARPENA R. Field Devices For Monitoring Soil Water Content, 2004. Disponível em <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ae/AE26600.pdf> , acesso em 20 de dezembro de 2004.

OLIVEIRA, L.B. de; MARTINS, A.M. C.M. Considerações sobre a umidade de 15 atmosferas e a umidade de murcha (método fisiológico), em solos do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.1, n.2, p.91-95, 1966.

OLIVEIRA, L.B. et al. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002.

OSTERVELD, M., CHANG, C. Empirical relations between laboratory determinations of soil texture and moisture retention. **Canadian Agricultural Engineering**, v.22, p.149-151, 1980.

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 2, p. 211-222, 2003.

OR, D.; WRAITH, J.M. **Agricultural and environmental soil physics**. Utah: Utah State University- 1997. 218 p.

PAIVA NETO, J. E.; DE JORGE, W. Estudo Preliminar do Sistema Água-solo-planta no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.7, n. 5. p. 133-149, 1947.

PETER, D.B. Water availability". In- BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.279-280, (Agronomy, 9).

PREVEDELLO B.M.S. Simplificação do método de Hillel para a Obtenção da Condutividade Hidráulica não Saturada, em condições de campo. 1979. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1979.

RANZANI, G., O. FREIRE; T. KINJO. **Carta de Solos do Município de Piracicaba. SP.**, Piracicaba: C.E.S., 1966. 83 p. Mimeografado.

RAWLS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L.; SAXTON, K.E., Estimation of soil water properties. **Transactions of the ASAE**, v.25, p.1316-1320, 1982.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. 1987. 188 p.

_____. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p. 211-216, 1988.

_____. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1990. caps 3,5.

_____. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, 1993. 505 p.

_____. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: ESALQ, 1996. 505 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. cap. 3, 6, 7, 9, 11, 12, 16.

RICHARDS, L. A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v.51, p.377-386,1941.

RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M.; Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, v.56, p.395-404,1943.

RICHARDS, L.A.; WEAVER, L. R. Fifteen– atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. **Soil Science**, v. 56, p. 331-340, 1944.

_____. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agronomy Engineering**, n. 28, p 451-454, 1947.

_____. Advances in soil physics. In: 7th INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7., 1960, Madison. **Proceedings...** Madison: International Society of Soil Science, 1960. p. 67-69. v.1.

RIGHES, A. A. et. Al. **Determinação da água no solo e na planta para irrigação.** Santa Maria: Imprensa Universitária, 2003. 97 p.

RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F. Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands. **Soil Science**, v.126, p.94-100, 1978.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 389-393, 2003.

SALES, L.E.O. et al. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SANTOS, G; CAMARGO, F. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.

SAUNDERS, L. C. U. **Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo.** 1978. 58 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1978.

SAXTON, K.E. et al. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science Society of América Journal**, v.50, n. 4, p.1031-1036,1986.

SILVA, A.P. da; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal.**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SOUZA, CC de et al. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, pp. 337-341, 2002.

SCHEINOST, A; SINOWSKI; AUERSWALD, K. Rationalization of soil water retention curves in a highly variable soils cape, I. Developing a new pedotransfer function. **Geoderma** , v.78, p.129-143, 1997.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

TIETJE, O.; TAPKENHINRICH, M. Evaluation of pedo-transfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 4, n.57,p. 1088-1095, 1993

TOMASELLA, J., M.G. HODNETT, L. ROSSATO. 2000. Pedo-transfer functions for soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 1, p. 327-338, 2000.

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

TORMENA, C.A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998

THORNE, D. W.; PETERSON, H. B. **Irrigated Soil**. Philadelphia: The Blakiston Company, 1949.288 p.

THURLER, A.M. **Determinação de capacidade de campo e retenção de umidade em solos do terciário da formação de barreiras, em função de suas características granulométricas e fatores estruturais**. 2000. ---f. Tese (Doutorado em Agronomia) 114 f– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

VAN DEN BERG, M. et al. Pedotransfer functions for the estimation of moisture and retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v.78, p.161-180, 1997.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VAN LIER, Q. J. Índices da disponibilidade de água para as plantas. In- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 95-106.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 75-95, 1949.

VIATEST. Aparelho Umídimetro Speedy. Consult. 2007-12-22. Disponível em <http://www.viatest.com.br/solo/speedy.htm>.

WAGENET, R.J.; BOUMA, J.; GROSSMAN, R. B. Minimum data sets for use of soil survey information in soil interpretive models. In: MAUSBACK, M. J.; WILDING, L.P., eds. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. (Special Publication, 28).

WHITE, I. et al. Effect of bulk electrical conductivity on TDR measurement of water content in porous media. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON TIME DOMAIN REFLECTOMETRY IN ENVIRONMENTAL, INFRASTRUCTURE, AND MINING APPLICATIONS, 1994, Evanston. Proceedings... Evanston: Northwestern University Illinois. 1994. p.294-308.

WILLMOTT, C. J.: On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n. 2, p.184-194,1981.

WINTER, E.J., **A água, o solo e a planta**. 2. ed. São Paulo, Nobel, 1984.

WRAITH, J.; DAS, B.S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time domain reflectometry. **Soil and Tillage Research**, v.47, n.1-2, p.145-150. 1998.

ANEXOS

ANEXO A – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - Carvalho (2002)

Tabela A.1 – Valores de umidade volumétrica da curva de retenção da água no solo para diferentes profundidades.

Potencial cm	Profundidade (cm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
5	0,318	0,304	0,326	0,339	0,345	0,335	0,378	0,341	0,375	0,378	0,370	0,370
10	0,306	0,291	0,308	0,338	0,322	0,332	0,340	0,355	0,361	0,352	0,375	0,378
30	0,291	0,274	0,301	0,287	0,312	0,306	0,316	0,308	0,327	0,323	0,314	0,347
50	0,262	0,264	0,266	0,270	0,280	0,264	0,269	0,270	0,294	0,267	0,306	0,287
100	0,244	0,219	0,246	0,198	0,206	0,214	0,204	0,193	0,203	0,193	0,207	0,221
200	0,206	0,191	0,223	0,181	0,169	0,158	0,165	0,157	0,174	0,184	0,159	0,161
300	0,213	0,187	0,208	0,187	0,176	0,174	0,177	0,177	0,175	0,175	0,168	0,164
500	0,194	0,170	0,183	0,181	0,183	0,160	0,160	0,158	0,159	0,161	0,161	0,165
1000	0,178	0,170	0,192	0,171	0,144	0,145	0,135	0,145	0,146	0,145	0,137	0,137

Tabela A.2 - Valores de umidade volumétrica em função do tempo em diversas profundidades no perfil do solo.

Tempo (h)	Profundidade (cm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	0,299	0,291	0,279	0,267	0,293	0,275	0,275	0,280	0,293	0,287	0,303	0,319
2	0,290	0,285	0,276	0,260	0,287	0,267	0,269	0,270	0,285	0,279	0,296	0,308
3	0,282	0,279	0,275	0,258	0,283	0,263	0,264	0,262	0,279	0,267	0,289	0,294
4	0,279	0,274	0,274	0,255	0,277	0,259	0,261	0,255	0,274	0,264	0,285	0,287
5	0,276	0,270	0,271	0,254	0,273	0,256	0,256	0,251	0,268	0,258	0,280	0,283
6	0,273	0,267	0,269	0,249	0,269	0,253	0,254	0,246	0,266	0,254	0,277	0,277
7	0,271	0,265	0,269	0,249	0,268	0,252	0,252	0,243	0,266	0,250	0,272	0,274
8	0,270	0,264	0,267	0,245	0,264	0,246	0,248	0,238	0,257	0,244	0,266	0,264
9	0,269	0,262	0,267	0,243	0,263	0,246	0,247	0,237	0,256	0,242	0,265	0,261
10	0,267	0,260	0,267	0,244	0,261	0,245	0,245	0,235	0,253	0,239	0,262	0,260
11	0,267	0,260	0,266	0,243	0,260	0,243	0,245	0,234	0,252	0,240	0,263	0,259
12	0,266	0,259	0,266	0,241	0,257	0,242	0,244	0,231	0,250	0,237	0,257	0,258
13	0,266	0,258	0,265	0,241	0,257	0,241	0,244	0,229	0,249	0,233	0,258	0,254
14	0,265	0,257	0,265	0,239	0,255	0,240	0,242	0,227	0,247	0,232	0,260	0,252
15	0,265	0,257	0,264	0,238	0,253	0,239	0,240	0,227	0,246	0,230	0,253	0,250
16	0,264	0,256	0,264	0,238	0,253	0,238	0,240	0,226	0,244	0,229	0,252	0,248
17	0,264	0,256	0,264	0,237	0,252	0,237	0,239	0,224	0,246	0,228	0,252	0,246
18	0,264	0,255	0,264	0,236	0,252	0,235	0,238	0,223	0,241	0,224	0,247	0,244
19	0,264	0,255	0,263	0,234	0,251	0,234	0,238	0,223	0,241	0,223	0,246	0,241
20	0,263	0,254	0,263	0,234	0,249	0,234	0,238	0,222	0,240	0,222	0,244	0,239
21	0,263	0,253	0,263	0,233	0,249	0,233	0,237	0,221	0,239	0,221	0,244	0,237
22	0,263	0,254	0,263	0,234	0,249	0,235	0,237	0,221	0,240	0,222	0,245	0,240
23	0,263	0,252	0,262	0,232	0,247	0,233	0,235	0,219	0,237	0,220	0,243	0,238
41	0,258	0,252	0,258	0,225	0,237	0,224	0,226	0,208	0,226	0,208	0,228	0,226
65	0,254	0,252	0,254	0,218	0,228	0,217	0,220	0,201	0,217	0,198	0,216	0,216
89	0,252	0,246	0,253	0,214	0,224	0,213	0,216	0,196	0,212	0,194	0,209	0,212
113	0,251	0,241	0,250	0,210	0,218	0,208	0,213	0,193	0,207	0,189	0,203	0,207

Tabela A.2 – Continuação

Tempo h	Profundidade (cm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
137	0,249	0,238	0,248	0,208	0,215	0,207	0,210	0,191	0,204	0,186	0,199	0,205
161	0,247	0,236	0,246	0,205	0,213	0,205	0,208	0,188	0,202	0,184	0,194	0,202
185	0,244	0,232	0,244	0,203	0,210	0,202	0,206	0,186	0,199	0,182	0,192	0,200
209	0,243	0,230	0,243	0,201	0,207	0,201	0,204	0,185	0,197	0,180	0,188	0,197
233	0,241	0,228	0,242	0,200	0,206	0,199	0,203	0,183	0,196	0,178	0,185	0,195
257	0,241	0,226	0,242	0,199	0,205	0,198	0,202	0,182	0,195	0,177	0,184	0,194
281	0,238	0,224	0,242	0,197	0,204	0,196	0,199	0,181	0,193	0,174	0,180	0,193
305	0,237	0,223	0,239	0,194	0,201	0,194	0,198	0,180	0,192	0,173	0,178	0,190
329	0,237	0,221	0,239	0,194	0,201	0,194	0,198	0,179	0,191	0,173	0,178	0,190
353	0,237	0,220	0,238	0,194	0,200	0,194	0,197	0,178	0,190	0,173	0,177	0,189
377	0,236	0,220	0,236	0,193	0,198	0,193	0,195	0,177	0,188	0,172	0,175	0,188
401	0,236	0,219	0,236	0,193	0,198	0,193	0,195	0,177	0,188	0,172	0,175	0,188
425	0,234	0,218	0,234	0,192	0,196	0,191	0,193	0,176	0,187	0,171	0,173	0,187
449	0,235	0,217	0,236	0,191	0,197	0,191	0,193	0,176	0,187	0,171	0,174	0,187
473	0,233	0,216	0,235	0,191	0,195	0,189	0,192	0,175	0,185	0,170	0,171	0,186
497	0,232	0,216	0,234	0,190	0,194	0,189	0,191	0,174	0,184	0,170	0,170	0,185
521	0,232	0,215	0,234	0,189	0,193	0,188	0,191	0,174	0,185	0,169	0,170	0,185
545	0,231	0,214	0,232	0,189	0,192	0,187	0,189	0,173	0,183	0,169	0,168	0,184
593	0,230	0,214	0,232	0,187	0,185	0,185	0,184	0,171	0,181	0,166	0,167	0,179
617	0,230	0,212	0,231	0,188	0,190	0,186	0,187	0,172	0,182	0,168	0,167	0,182
641	0,230	0,206	0,231	0,188	0,190	0,186	0,186	0,172	0,181	0,168	0,166	0,182
665	0,230	0,211	0,230	0,187	0,190	0,185	0,185	0,171	0,180	0,167	0,165	0,181
689	0,230	0,211	0,230	0,187	0,191	0,185	0,186	0,171	0,180	0,167	0,165	0,181
713	0,230	0,210	0,230	0,187	0,189	0,185	0,186	0,171	0,180	0,167	0,164	0,180

ANEXO B – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - Costa (1986)

Tabela B.1 - Valores de umidade volumétrica da curva de retenção da água no solo para diferentes profundidades.

Potencial cm	Profundidade (cm)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
1	0,486	0,526	0,520	0,514	0,501	0,532	0,534	0,529	0,550	0,558
10	0,434	0,508	0,509	0,485	0,495	0,532	0,526	0,529	0,532	0,534
30	0,394	0,482	0,486	0,450	0,443	0,501	0,462	0,468	0,484	0,472
50	0,376	0,463	0,469	0,431	0,412	0,442	0,413	0,416	0,446	0,429
70	0,365	0,449	0,455	0,420	0,393	0,411	0,384	0,389	0,419	0,400
90	0,357	0,438	0,443	0,411	0,381	0,392	0,366	0,371	0,398	0,380
150	0,342	0,414	0,420	0,395	0,360	0,359	0,336	0,341	0,360	0,344
330	0,323	0,378	0,385	0,372	0,335	0,324	0,305	0,308	0,314	0,304
1100	0,302	0,340	0,346	0,346	0,312	0,294	0,280	0,278	0,276	0,272
5000	0,281	0,313	0,310	0,317	0,293	0,272	0,264	0,259	0,252	0,251
15000	0,272	0,305	0,294	0,302	0,285	0,265	0,260	0,248	0,246	0,246

Tabela B.2 - Valores de umidade volumétrica em função do tempo em diversas profundidades no perfil do solo.

Tempo h	Profundidade (cm)									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
0	0,496	0,503	0,475	0,431	0,465	0,430	0,430	0,486	0,496	0,503
17	0,472	0,481	0,431	0,383	0,392	0,366	0,366	0,391	0,472	0,481
35	0,468	0,474	0,429	0,380	0,384	0,359	0,363	0,383	0,468	0,474
42	0,465	0,472	0,427	0,376	0,380	0,354	0,357	0,377	0,465	0,472
83	0,462	0,468	0,424	0,372	0,373	0,348	0,351	0,370	0,462	0,468
154	0,457	0,463	0,420	0,368	0,365	0,341	0,345	0,363	0,457	0,463
250	0,452	0,458	0,415	0,364	0,358	0,335	0,339	0,356	0,452	0,458
353	0,446	0,452	0,409	0,359	0,352	0,329	0,332	0,349	0,446	0,452
443	0,443	0,449	0,408	0,358	0,350	0,328	0,331	0,348	0,443	0,449
518	0,441	0,446	0,406	0,356	0,347	0,326	0,329	0,346	0,441	0,446

ANEXO C – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - Saunders (1978)

Tabela C.1 - Valores de umidade volumétrica da curva de retenção da água no solo para diferentes profundidades.

Potencial cm	Profundidade (cm)		
	60	90	120
300	0,3788	0,3788	0,3788
310	0,3677	0,3677	0,3677
320	0,3578	0,3578	0,3578
330	0,3492	0,3492	0,3492
340	0,3418	0,3418	0,3418
360	0,3308	0,3308	0,3308
380	0,3249	0,3249	0,3249

Tabela C.2 Valores de umidade volumétrica em função do tempo em diversas profundidades no perfil do solo.

Tempo h	Profundidade (cm)			
	30	60	90	120
0,0	0,366	0,337	0,330	0,393
21,1	0,362	0,331	0,325	0,384
22,8	0,359	0,329	0,318	0,371
47,0	0,354	0,329	0,313	0,364
70,8	0,351	0,324	0,307	0,361
94,8	0,351	0,321	0,308	0,357
118,8	0,347	0,323	0,307	0,349
143,3	0,339	0,325	0,312	0,343
166,8	0,351	0,325	0,312	0,349
190,8	0,349	0,321	0,307	0,346
238,8	0,351	0,321	0,306	0,350
311,5	0,351	0,316	0,297	0,342
334,8	0,350	0,317	0,303	0,335
408,0	0,346	0,313	0,295	0,336
479,5	0,348	0,302	0,321	0,335
509,5	0,348	0,318	0,300	0,330
535,5	0,346	0,317	0,296	0,336
581,2	0,344	0,316	0,296	0,335
649,8	0,345	0,316	0,292	0,330
744,0	0,344	0,315	0,291	0,329
840,0	0,345	0,314	0,287	0,329
912,0	0,344	0,310	0,290	0,324

ANEXO D – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - Libardi (1978) – TRE

Tabela D.1 - Valores de umidade volumétrica da curva de retenção da água no solo para diferentes profundidades.

Potencial cm	Profundidade (cm)					
	15	45	75	105	135	165
26	0,286	0,286	0,348	0,317	0,324	0,342
46	0,278	0,278	0,337	0,303	0,311	0,330
97	0,264	0,264	0,316	0,274	0,284	0,303
141	0,255	0,255	0,302	0,254	0,264	0,282
187	0,248	0,248	0,290	0,237	0,247	0,263
300	0,235	0,235	0,267	0,204	0,213	0,224
500	0,219	0,219	0,240	0,164	0,170	0,172
800	0,204	0,204	0,214	0,123	0,126	0,117

Tabela D.2- Valores de umidade volumétrica em função do tempo em diversas profundidades no perfil do solo Terra Roxa Estruturada.

Tempo h	Profundidade (cm)					
	15	45	75	105	135	165
6,0	0,303	0,300	0,364	0,321	0,323	0,363
21,3	0,296	0,298	0,361	0,318	0,298	0,343
45,5	0,299	0,297	0,354	0,308	0,289	0,335
76,5	0,294	0,296	0,352	0,305	0,295	0,314
143,0	0,292	0,295	0,350	0,303	0,275	0,310
214,0	0,293	0,291	0,349	0,298	0,265	0,306
333,5	0,291	0,292	0,350	0,288	0,269	0,301
478,1	0,285	0,290	0,346	0,281	0,265	0,295

ANEXO E – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - Libardi (1978) - VAFA

Tabela E.1 - Valores de umidade volumétrica da curva de retenção da água no solo para diferentes profundidades.

Potencial cm	Profundidade (cm)								
	15	30	45	60	75	90	105	120	135
0	0,390	0,400	0,409	0,427	0,393	0,383	0,383	0,396	0,391
26	0,290	0,350	0,344	0,377	0,335	0,325	0,329	0,352	0,348
46	0,250	0,320	0,305	0,333	0,286	0,289	0,291	0,312	0,305
97	0,220	0,280	0,257	0,271	0,219	0,227	0,231	0,239	0,236
141	0,200	0,260	0,239	0,248	0,193	0,206	0,207	0,211	0,209
187	0,180	0,250	0,227	0,235	0,177	0,192	0,194	0,196	0,194
300	0,167	0,201	0,190	0,173	0,172	0,173	0,177	0,171	0,161
500	0,148	0,188	0,175	0,159	0,157	0,157	0,162	0,155	0,149
800	0,133	0,178	0,168	0,150	0,148	0,148	0,152	0,145	0,138

Tabela E.2 - Valores de umidade volumétrica em função do tempo em diversas profundidades no perfil do solo Vermelho-Amarelo fase arenosa.

Tempo h	Profundidade (cm)								
	15	30	45	60	75	90	105	120	135
0,0	0,390	0,400	0,409	0,427	0,395	0,383	0,383	0,396	0,391
0,3	0,370	0,388	0,392	0,412	0,380	0,368	0,370	0,380	0,377
0,5	0,350	0,382	0,380	0,408	0,375	0,355	0,580	0,372	0,367
0,8	0,338	0,378	0,375	0,405	0,368	0,350	0,348	0,368	0,362
1,0	0,325	0,375	0,368	0,400	0,362	0,338	0,342	0,360	0,357
1,3	0,318	0,372	0,362	0,398	0,355	0,332	0,332	0,358	0,352
1,5	0,310	0,368	0,355	0,392	0,350	0,328	0,325	0,355	0,347
1,8	0,305	0,362	0,352	0,390	0,345	0,320	0,320	0,348	0,342
2,0	0,295	0,360	0,345	0,388	0,338	0,318	0,318	0,345	0,340
2,5	0,292	0,358	0,338	0,385	0,332	0,312	0,310	0,338	0,335
3,0	0,290	0,355	0,332	0,372	0,328	0,305	0,300	0,330	0,330
4,0	0,280	0,350	0,322	0,365	0,315	0,292	0,292	0,322	0,320
5,0	0,275	0,348	0,312	0,360	0,310	0,290	0,282	0,318	0,310
6,0	0,270	0,345	0,308	0,355	0,305	0,288	0,275	0,312	0,305
9,0	0,265	0,342	0,302	0,348	0,292	0,280	0,265	0,305	0,295
12,0	0,262	0,338	0,300	0,345	0,282	0,275	0,260	0,302	0,290
24,0	0,252	0,325	0,292	0,325	0,265	0,262	0,248	0,275	0,267
36,0	0,245	0,318	0,285	0,315	0,248	0,250	0,238	0,262	0,255
48,0	0,238	0,310	0,275	0,305	0,240	0,245	0,232	0,253	0,247
72,0	0,230	0,300	0,265	0,292	0,225	0,232	0,225	0,240	0,238
96,0	0,225	0,292	0,258	0,288	0,218	0,228	0,222	0,235	0,232
120,0	0,220	0,285	0,253	0,280	0,212	0,222	0,220	0,229	0,227
240,0	0,206	0,270	0,240	0,260	0,198	0,212	0,212	0,218	0,220
360,0	0,198	0,258	0,232	0,248	0,192	0,205	0,210	0,212	0,212
480,0	0,192	0,250	0,228	0,240	0,190	0,201	0,205	0,208	0,210

ANEXO F – Dados da curva de retenção e da umidade volumétrica em função do tempo obtidos na literatura - CHO et al (1976) em Prevedello (1979)

Tabela F,1- Valores do potencial total (cm) e tempos obtidos das diversas profundidades nos dados experimentais.

Tempo h	Profundidade (cm)						
	10	20	40	60	80	100	120
1	-30,20	-26,11	-23,89	-23,33	-18,19	-18,75	-18,41
2	-32,78	-29,58	-26,67	-25,83	-20,14	-20,69	-19,51
3	-34,17	-30,69	-27,22	-26,25	-20,69	-21,53	-20,70
6	-36,94	-32,68	-28,75	-27,50	-22,08	-22,64	-21,18
12	-38,89	-34,17	-30,97	-30,14	-23,47	-22,92	-23,06
24	-47,92	-36,67	-33,33	-33,19	-26,25	-27,08	-25,35
48	-67,92	-39,31	-39,86	-35,97	-27,64	-27,50	-27,78
96	-51,94	-44,58	-39,17	-37,50	-29,86	-28,19	-27,43
168	-56,94	-52,92	-43,33	-40,97	-32,50	-29,86	-14,93

Tabela F,2- Valores de umidade volumétrica das diversas profundidades e tempos obtidos dos dados experimentais.

Tempo h	Profundidade (cm)						
	10	20	40	60	80	100	120
1	0,1136	0,1282	0,1423	0,1553	0,1713	0,1734	0,1727
2	0,1020	0,1151	0,1262	0,1394	0,1595	0,1623	0,1578
3	0,1018	0,1111	0,1200	0,1335	0,1516	0,1518	0,1442
6	0,0891	0,0978	0,1061	0,1188	0,1373	0,1390	0,1316
12	0,0811	0,0897	0,0969	0,1077	0,1230	0,1232	0,1173
24	0,0744	0,0831	0,0900	0,0988	0,1121	0,1138	0,1116
48	0,0666	0,0759	0,0843	0,0940	0,1036	0,1023	0,1015
96	0,0615	0,0708	0,0787	0,0832	0,0942	0,0971	0,0927
168	0,0600	0,0678	0,0747	0,0819	0,0911	0,0912	0,0893