

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE DO USO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO  
SOLO DETERMINADA POR DIFERENTES MÉTODOS E PLANILHA  
PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

**PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
FEVEREIRO – 2009**

**ANÁLISE DO USO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO  
SOLO DETERMINADA POR DIFERENTES MÉTODOS E PLANILHA  
PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

**PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO**

Engenheira Agrônoma

Escola de Agronomia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2006

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

**Orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz**

**Co-orientador: Dr. Luis Henrique Basso**

## FICHA CATALOGRÁFICA

N244 Nascimento, Patrícia dos Santos.

Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos em planilha de manejo de irrigação / por Patrícia dos Santos Nascimento - Cruz das Almas, 2009.

88 f.: il.

Inclui tabelas e gráficos

Orientador: Vital Pedro da Silva Paz.

Co-orientador: Luís Henrique Bassoi

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Curso Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1. Irrigação – curvas de retenção. 2. Curvas de retenção - uva. 3 Uva – irrigação – semi-árido. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. II. Título. III. Paz, Vital Pedro da Silva. IV. Bassoi, Luís Henrique

CDD: 631.432

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DA ALUNA PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO**

---

Dr. Luis Henrique Bassoi  
Embrapa Semi-Árido  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

---

Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha  
CEFET- Porto Seguro

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias em .....  
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

### **Mensagem**

*“ Nunca Ihe dão um desejo sem também Ihe darem o poder de realizá-lo...*

*Você tem de trabalhar por ele, porém” (Richard Bach)*

### **Dedico**

À **Deus** por estar sempre ao meu lado, mostrando-me os caminhos para que os obstáculos fossem sempre superados.

Aos meus pais por todo sacrifício, amor, incentivo e apoio em todas as escolhas da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz pela orientação e apoio;

Ao Dr. Luis Henrique Bassoi pela co-orientação, paciência, credibilidade e principalmente pelas palavras de estímulo ao longo do convívio;

Ao Prof. Dr. Aureo Oliveira pelo carinho, apoio e amizade valiosa;

Aos Professores Francisco Adriano, Eugênio Coelho e Mauricio Coelho pela confiança, competência, carinho e conhecimentos transferidos;

A todas as pessoas que constituem o Núcleo de Engenharia de água e Solo (NEAS), pelo convívio, apoio e amizade;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela oportunidade de realização do curso;

A Embrapa Semi-Árido pela infra-estrutura e apoio durante a realização dessa pesquisa;

A fazenda Sasaki pela concessão da área experimental, fornecimento de dados e todo o apoio oferecido, em especial: Ao Sr. Paulo Sasaki, Patricia Villar, Evanice Feitosa, Washington Alves e Janeide Sá;

Aos pesquisadores Carlos Manoel Pedro Vaz, João de Mendonça Naime, e a bolsista do CNPq Juliana Manieri, da Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos – SP, pela valiosa contribuição;

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

À Isaelce, bibliotecária da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pela revisão das referências bibliográficas;

À banca examinadora, pelo auxílio na conclusão desta pesquisa;

Em especial:

A minha família, meu país e minha madrinha pelo estímulo e educação que representa o que sou hoje; irmãos, tios, primos, avós e meus lindos sobrinhos.

Aos amigos sempre presentes mesmo á distancia, sem os quais tudo seria muito mais difícil: Andreia, Adriana, Fabio, Laura, Jamile, josi, Valéria e Vanessa.

Aos novos amigos de Petrolina pela ajuda, apoio e torcida: Audenice, Carmen, Ediene, Edivan e Juliano.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

## SUMÁRIO

|   | Página    |
|---|-----------|
| RESUMO.....   |           |
| ABSTRACT.....   |           |
| INTRODUÇÃO.....   | <b>01</b> |
| Capítulo 1  |           |
| ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A<br>DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO<br>SOLO..... | <b>05</b> |
| Capítulo 2  |           |
| PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO<br>EM<br>MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....            | <b>41</b> |
| CONSIDERAÇÕES   |           |
| FINAIS.....   | <b>83</b> |



# **ANÁLISE DO USO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DETERMINADA POR DIFERENTES MÉTODOS E PLANILHA PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Autora: Patricia dos Santos Nascimento  
Orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz  
Co-orientador: Dr. Luis Henrique Bassoi

**RESUMO:** A região do Submédio São Francisco destaca-se no mercado nacional e internacional como pólo produtor e exportador de uvas de mesa de alta qualidade. Assim, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de comparar diferentes métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo e desenvolver, testar e validar uma planilha de auxílio à tomada de decisões quanto ao manejo de irrigação em um sistema de produção de uva de mesa. O experimento foi conduzido num pomar de videira cultivar Crimson Seedless, localizado no município de Petrolina-PE, onde foram coletadas amostras de solo para a determinação da curva de retenção de água no solo pelos métodos Arya & Paris, Richards e centrífuga. O conhecimento das características de retenção de água do solo associada às leituras tensiométricas realizadas na área experimental foram utilizadas para a determinação do potencial matricial, umidade do solo, água disponível no solo, umidade de reposição, lâmina bruta e tempo de irrigação pela planilha e assim auxiliar o produtor na tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação. A comparação entre as curvas de retenção obtida pelas diferentes metodologias revelou uma maior proximidade no comportamento das curvas para valores de tensão superiores a 0,1 MPa. O uso da planilha resultou em uma menor lâmina bruta de irrigação, e, conseqüentemente, em um menor tempo de irrigação, quando comparado ao uso de dados referentes à evapotranspiração da cultura para o manejo de irrigação. Sugere-se o uso combinado da planilha e dos dados agrometeorológicos para a aplicação de água de irrigação no sistema de produção de uva de mesa avaliado.

**Palavras-chave:** solo arenoso, umidade do solo, tensiômetro, lâmina de irrigação, semi-árido, *Vitis vinifera* L.

## **ANALYSIS OF THE USE OF SOIL WATER RETENTION CURVE DETERMINED BY DIFFERENT METHODS AND IRRIGATION SCHEDULING SPREADSHEET**

Author: Patricia dos Santos Nascimento  
Adviser: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz  
Co-adviser: Dr. Luís Henrique Bassoi

**ABSTRACT:** The region of Lower-middle São Francisco has been nationally and internationally known as growing and exporter area of high quality table grapes. Hence, this research has the objective to compare different methods for determining the soil water retention curve and develop, test and validate a spreadsheet to help decision-making in irrigation scheduling of a table grape cropping system. The experiment was carried out in an orchard of grapevines cv. Crimson Seedless, in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. Soil samples were collected for the determination of soil water retention curve by the Arya & Paris, Richards (pressure membrane apparatus) and centrifuge methods. Knowledge of soil water retention characteristics together in situ tensiometer readings were used to determining soil water matric potential, soil moisture, soil water availability; gross irrigation depth and irrigation time by the spreadsheet, and to help the decision-making by growers on irrigation scheduling. The comparison among the retention curves obtained by different methods showed a closer behavior for values greater than 0,1 MPa. The use of spreadsheet resulted in a lower gross irrigation depth and consequently lower irrigation time when compared to the use of crop evapotranspiration to irrigation scheduling, what suggest the combined use of the spreadsheet with agrometeorological data to schedule the water application in this table grape cropping system.

**Key words:** sandy soil, soil moisture, tensiometer, irrigation depth, semi-arid, *Vitis vinifera* L.

## INTRODUÇÃO

O Vale do São Francisco é a principal região vitícola tropical do Brasil, destacando-se os pólos produtores da mesorregião Norte de Minas Gerais (que inclui as microrregiões de Januária, Janaúba e Pirapora) e as microrregiões de Juazeiro, BA, e Petrolina, PE, com áreas de 3.981, e 5.126 ha, respectivamente (IBGE, 2007). Segundo Vitti (2007), a uva liderou o ranking das exportações brasileiras de frutas no ano de 2006.

A alta disponibilidade de radiação solar na região do Sub-médio São Francisco, onde localizam-se os municípios de Petrolina - PE e Juazeiro - BA, contribui para o cultivo de espécies frutíferas durante todo o ano; porém, por se tratar de uma região dentro do Semi-Árido brasileiro, os índices pluviométricos são aquém das necessidades das plantas e a distribuição das chuvas é irregular ao longo do ano. Assim, os sistemas de produção de frutas dessa região utilizam-se da irrigação para o fornecimento de água às plantas durante todo o ano, tendo o rio São Francisco como principal fonte de água. Destaca-se a produção de uva de mesa tanto pela quantidade como pela qualidade, que caracteriza Petrolina-PE e Juazeiro-BA como municípios produtores e fornecedores para os mercados nacionais e internacionais.

A videira é uma cultura bastante influenciada pelo clima, se adaptando bem a diferentes tipos e tendo sua potencialidade realçada a partir do momento que suas exigências são atendidas, pois tanto o excesso como o déficit hídrico afeta, de maneira marcante, o comportamento dos estádios fenológicos da cultura da videira, comprometendo a qualidade e produtividade dos frutos. A deficiência hídrica quando ocorre durante o período inicial de crescimento das bagas, proporciona redução no tamanho dos frutos; quando acontece durante a

maturação, atrasa o amadurecimento, afetando a coloração e favorecendo a queima dos frutos pela radiação solar. Na fase final de maturação o consumo hídrico da videira diminui (TEIXEIRA et al., 2002). O excesso hídrico, combinado com temperaturas elevadas, torna a cultura muito susceptível a doenças.

O estudo das propriedades físico-hídricas de um solo é de grande importância, visto que afeta preponderadamente o seu uso. Assim sendo, a exploração racional e econômica de áreas irrigadas, seja em regiões áridas e/ou semi-áridas, requer a elaboração de um criterioso dimensionamento e manejo adequado dos sistemas de irrigação e drenagem levando-se, então, em consideração, as alterações das características físico-hídricas do solo, como forma de atender satisfatoriamente as necessidades hídricas das plantas. Devido à importância da água no desenvolvimento das plantas e suas implicações em várias propriedades do solo, a determinação do teor de água no solo sempre foi de grande interesse, tanto no aspecto científico como no econômico (CICHOTA; LIER, 2004).

Um dos parâmetros que podem auxiliar ao produtor no manejo da irrigação é a determinação da curva de retenção de água do solo, que representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida no solo; esse conhecimento é essencial no estudo das relações solo-água. No entanto, constitui uma propriedade de difícil caracterização tanto pelo tempo que se consome nas análises quanto pela intrínseca modificação da amostra devido à histerese. Sua determinação pode ser efetuada por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (Richards, 1965) e da centrífuga (Silva; Azevedo, 2002), ou através de métodos indiretos, os quais utilizam dados taxonômicos simples para a estimativa da capacidade de retenção da água nos solos. Dentre estes métodos se destacam as funções de pedotransferência, as quais descrevem equações que expressam dependências da retenção da água com parâmetros básicos disponíveis em levantamentos de solos.

Com o objetivo de facilitar as estimativas de curva de retenção com base no modelo de Arya & Paris (1981), Naime et al. (2006) desenvolveram o aplicativo Qualisolo que, tendo como entrada os dados da análise granulométrica e da densidade do solo, realiza rapidamente a estimação da curva de retenção de

água. De modo que seja possível obter uma determinação rápida e precisa desse parâmetro de fundamental importância para o manejo da irrigação.

Segundo Villagra (1988) o manejo da irrigação baseada no potencial de água no solo é a maneira mais racional de uso da água e o tensiômetro o equipamento mais utilizado e recomendado para determinação do potencial mátrico em condições de campo. O potencial mátrico da água no solo representa a medida de seu estado de energia em relação ao estado da água livre e pura, assumindo assim grande importância na descrição dos processos dinâmicos que ocorrem no solo e na definição do momento certo de irrigar, além de proporcionar melhor distribuição no uso da água. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo comparar diferentes métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo e testar uma planilha de auxílio a tomada de decisões em sistemas irrigados no vale do Rio São Francisco.

## Referências Bibliográficas

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, v. 45, p. 1023-1030, 1981.

CICHOTA, R.; LIER; QUIRIJN, JONG Van. Avaliação no campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 8, p. 72-78, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agricolamunicipal**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 11 nov. 2008.

NAIME, J. de M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Determinações físicas do solo a partir da granulometria: Programa Qualisolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., Aracaju, 2006. **Resumos e palestras...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, n.37, p.1487-1494, 2002.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al, Aptidão agroclimática da cultura da videira no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, v. 6, n. 1, abr. 2002.

VILLAGRA, M. de las M. **Variabilidade de medidas de tensiômetro em terra roxa estruturada.** 1988. 64 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

VITTI, A. "Funcionário feliz, fazenda próspera"; In: **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, ano 5, n. 54, jan/fev. 2007.

## **CAPÍTULO 1**

### **ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Irriga.

## **ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO**

Autora: Patricia dos Santos Nascimento

Orientador: Prof. Dr Vital Pedro da Silva Paz

Co-orientador: Dr Luís Henrique Basso

**RESUMO:** Esta pesquisa teve como objetivo a determinação e comparação da curva de retenção de água no solo, obtida pelos métodos proposto por Arya & Paris (1981), método da câmara de Richards e método da centrifuga, em Neossolo Quartzarênico do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina - PE. O experimento foi instalado num pomar de videira pertencente a cultivar Crimson Seedless. Para a determinação da curva de retenção de água no solo nas camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foram coletadas amostras em 3 pontos do experimento, as quais foram homogeneizadas por camada, formando assim uma amostra composta para cada profundidade; em seguida, tais amostras foram subdividas em três subamostras, onde cada uma foi encaminhada para a determinação da curva de retenção de água no solo pelos métodos Arya & Paris, câmara de Richards e Centrifuga. A curva proveniente da metodologia desenvolvida por Arya & Paris possui comportamento similar as demais metodologias quanto a quantidade de água retida em relação à tensão aplicada para todas as profundidades em estudo, sendo tal comportamento mais uniforme para tensões superiores a 0,1 MPa. Para potenciais inferiores a 0,1 MPa a umidade do solo estimada pela curva de retenção obtida pelo método Arya & Paris é superior à umidade determinada pelos métodos de Richards e da centrifuga à mesma tensão.

**Palavras-chave:** solo arenoso, analisador granulométrico, capacidade de campo, ponto de murcha permanente.



## **COMPARATIVE STUDY OF METHODS FOR DETERMINING THE SOIL WATER RETENTION CURVE**

Author: Patricia dos Santos Nascimento  
Adviser: Prof. Dr Vital Pedro da Silva Paz  
Co-adviser: Dr Luís Henrique Bassoi

**ABSTRACT:** This research aimed to determine and compare the soil water retention curve, obtained by the methods proposed by Arya & Paris (1981), the Richards (pressure membrane apparatus) and centrifuge method, of a Typic Quartzipsamment from the Senador Nilo Coelho Irrigation Scheme, in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. The experiment was carried out in vineyard with cv. Crimson Seedless. To determine of the soil water retention curve in the layers of 0.0-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m depths, soil samples were collected in three points inside the vineyard. The soil samples were homogenized by layer, thus forming a composite sample for each soil layer. Then, these samples were subdivided into three sub samples, each of which was used to determination of soil water retention curve by the methods of Arya & Paris, Richards and centrifuge. The curves obtained by the method developed by Arya & Paris has similar behavior to the other two methods as the amount of water retained in relation to the tension applied to all depths under study, and this behavior is more uniform for tensions greater than 0,1 MPa. When potential values are below 0,1 MPa the soil moisture estimated by curve obtained by Arya & Paris method is greater than the value determined by the Richards and centrifuge methodsat the same tension.

**Key words:** coarse texture, granulometry analyzer, field capacity, permanent wilting point.

## INTRODUÇÃO

A curva de retenção da água no solo é expressa pela relação entre o potencial matricial e a umidade do solo. A retenção de água na matriz do solo é governada por duas forças principais, as forças capilares e as forças de adsorção, as quais são denominadas de forças mátricas, dando origem ao termo potencial matricial da água no solo (VIEIRA, 2006). O conhecimento do potencial de água no solo é decisivo no estabelecimento das necessidades de irrigação para a cultura, permitindo definir o potencial de variação da água no solo no intervalo de água disponível as plantas (MARCIANO, 1998).

Libardi (2000) definiu de forma mais clara a curva de retenção como sendo a relação funcional entre a quantidade de solução em um volume do solo, em equilíbrio com a tensão aplicada. Esta relação parte do princípio de que a água ocupa os espaços porosos do solo sob determinada tensão, que é dependente da composição granulométrica e do arranjo estrutural do solo, sendo o conteúdo de umidade do solo inversamente proporcional ao seu potencial matricial.

Alguns fatores têm relevante importância na retenção de água por um solo, porém, a textura merece uma atenção especial, sendo o seu conhecimento de fundamental importância para a determinação da área de contato entre as partículas sólidas e a água, determinando assim, uma grande quantidade da distribuição do diâmetro dos poros (REICHARDT; TIMM, 2004).

Em elevados teores de água (baixas sucções) onde os fenômenos de capilaridade assumem grande importância na determinação do potencial matricial, a curva de retenção de água fica na dependência da disposição e do tamanho dos poros, ou seja, a curva é função da estrutura do solo; em situações de baixos teores de água (altas sucções), o potencial matricial praticamente independe dos fatores geométricos, sendo a estrutura de pouca importância em sua determinação (REICHARDT, 1985).

A curva de retenção de água no solo tem uma aplicabilidade muito ampla tanto nos meios científicos como no cotidiano dos produtores, já que simultâneo ao seu conhecimento é possível estimar outros atributos do solo como a porosidade drenável, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, condutividade hidráulica não-saturada, além do balanço hídrico,

determinando-se a variabilidade do armazenamento de água no solo (SCOTT, 2000; CENTURION; ANDRIOLI, 2000; MELLO et al., 2005).

A curva de retenção de água no solo é um indicador físico bastante valioso da qualidade do solo. Sua obtenção pode ser realizada de forma tradicional em laboratório utilizando amostras indeformadas ou deformadas de solo (EMBRAPA, 1997), fazendo uso de diferentes metodologias, dentre as quais o método da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002) e a clássica metodologia da mesa de tensão ou câmaras de pressão (RICHARDS, 1965).

Tais métodos consistem no levantamento de certo número de pontos, normalmente selecionados de forma arbitrária, com os quais é traçada uma curva que relaciona a umidade volumétrica retida no solo em uma determinada tensão. Entretanto, tais métodos apresentam algumas limitações quanto à dificuldade no controle do ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida no solo; não possibilitam a distribuição detalhada e contínua (curvas) dos diâmetros das partículas do solo; a porcentagem de areia é determinada à parte, por peneiramento (CRESTANA, 1994; VAZ et al., 1996; VAZ et al., 1997). Outras limitações inerentes aos métodos convencionais se dá pela elevada ocupação de espaço físico nos laboratórios, forte dependência da habilidade da pessoa responsável por operar os equipamentos e o elevado prazo de resposta dos laboratórios que podem durar até meses para a determinação da curva de retenção (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001).

Na metodologia descrita por Richards a extração de água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo; o fluxo de água é exponencialmente reduzido quando o potencial matricial torna-se mais negativo, especialmente quando se aproxima de  $-1,5$  MPa, gastando-se assim um tempo muito grande para atingir o equilíbrio da umidade na amostra.

De acordo com Briggs & McLane (1910), citados por Silva; Azevedo (2002), a determinação da curva utilizando o método da centrífuga é uma técnica bastante antiga, porém, ainda utilizada em laboratórios de pesquisa onde tem sua importância reconhecida na obtenção da curva de retenção (MALCOM; ANDRÉE, 1991). A mesma apresenta como vantagem operacional a rápida obtenção do equilíbrio da amostra, que ocorre normalmente em um período inferior a seis horas. No entanto, apresenta como limitações os possíveis erros causados pela

compactação das amostras de solo durante o processo de centrifugação (FREITAS JÚNIOR; SILVA, 1984), além da influência do período de centrifugação da amostra de solo na curva de retenção da umidade, afetando principalmente os valores da umidade nas tensões mais elevadas, alterando, portanto, a umidade residual (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Em função das dificuldades experimentais e do longo tempo envolvido nessas determinações, têm-se observado um crescente interesse por métodos indiretos de estimativa da capacidade de retenção da água nos solos (Arya et al. 1999; Pachepsky; Rawls, 1999), os quais utilizam dados taxonômicos simples. Dentre eles, os mais importantes são as funções de pedotransferência (PTF), que descrevem equações que expressam dependências da retenção da água com parâmetros básicos disponíveis em levantamentos de solos.

A validação por Vaz et al. (2004) do modelo de Arya & Paris (1981) para os solos mais representativos do estado de São Paulo, serviu de base para o desenvolvimento do software Qualisolo, que tem por objetivo adicionar novas funcionalidades ao analisador granulométrico automático (Vaz et al., 1999 e Naime et al., 2001), como a obtenção da curva de retenção de água no solo.

O modelo desenvolvido por Arya & Paris utiliza a similaridade entre as funções que descrevem a distribuição de tamanho de partículas e a curva de retenção da água no solo para obter essa última função indiretamente. O tamanho dos poros é associado a certo volume de poros, determinado através de escalonamento (ARYA et al., 1999).

O analisador granulométrico tem como principal característica o fornecimento da distribuição detalhada do tamanho de partículas (DTP) que constitui o solo. Tal equipamento apresenta como principais vantagens a redução no tempo de determinação de 24 horas para 20 minutos, uma maior precisão na obtenção da curva completa da distribuição do tamanho de partículas e a não dependência da habilidade do operador, já que o processo de análise é automatizado (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001); com isso reduz-se as limitações existentes nos métodos tradicionais de determinação do tamanho das partículas minerais do solo, gerando uma nova alternativa de obtenção da curva de retenção, baseadas em parâmetros de fácil determinação e/ou disponíveis em levantamentos de solos (NAIME et al., 2004). Segundo Martin Neto et al. (2003),

em uma avaliação dentro do Programa de Qualidade de Laboratórios de Solos (PQLS) o analisador granulométrico obteve índice de excelência 18% maior que os métodos da pipeta e do densímetro.

Os protótipos do equipamento, bem como, a metodologia de operação do mesmo foram amplamente validados em projetos de pesquisa, revelando as múltiplas aplicabilidades, possibilitando assim a ampliação das funções do analisador granulométrico, permitindo a adição de resultados práticos de extrema importância como a curva de retenção da água, a condutividade hidráulica não saturada, o índice de qualidade física (S) do solo e as faixas adequadas de densidade e de umidade de manejo (NAIME et al., 2006).

Como o analisador granulométrico mede 26 pontos da DTP, tem-se dados suficientes para gerar uma boa interpolação da DTP através de uma função sigmoideal ou logística. Portanto, é muito apropriado aplicar o modelo de Arya & Paris em implementação computacional, de forma integrada ao instrumento de análise, a fim de obter novas aplicabilidades para o mesmo (NAIME et al., 2004).

Vaz et al. (2005) validaram para solos brasileiros o método de Arya & Paris (1981) para obtenção da curva de retenção da água no solo. Os autores concluíram que a melhor estimativa do modelo de Arya & Paris é obtida utilizando o parâmetro de escalonamento ( $\alpha$ ) do raio da partícula como função da umidade ( $\theta$ ), assim o erro de correlação com os valores experimentais é consideravelmente menor do que adotar um valor constante como foi proposto por ARYA e PARIS (1981) ( $\alpha=1,38$ ) e ARYA e DIEROLF (1992) ( $\alpha=0,938$ ). Alguns modelos empíricos têm sido propostos e utilizados para descrever a curva de retenção de água no solo a partir de um determinado número de pontos medidos (BROOKS; COREY, 1966; VAN GENUCHTEN, 1980; ROSSI; NIMMO, 1994; ASSOULINE et al., 1998; PRUNTY; CASEY, 2002).

De acordo com Kastanek; Nielsen (2001), a prevalência do uso de funções empíricas para ajustar as curvas de retenção de água do solo se mantém como uma prática corriqueira pelo fato de ainda não existirem expressões matemáticas teóricas capazes de representar adequadamente essa relação físico-hídrica.

Objetivou-se com esse trabalho a determinação e a comparação da curva de retenção de água no solo obtida pelos métodos proposto por Arya & Paris

(1981), método da câmara de Richards e método da centrifuga, em um Neossolo Quartzarênico do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina-PE.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Petrolina-PE (latitude 09°30'S; longitude 40°40'W e 365m de altitude). Conforme a classificação de Köppen a região do submédio São Francisco apresenta clima do tipo BSw<sup>h</sup>' (REDDY; AMORIM NETO, 1993). Nessa região, a estação chuvosa compreende, em geral, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. Nos meses de verão ocasionalmente ocorrem grandes taxas de deficiências hídricas, instituindo assim o regime hídrico como o fator de maior limitação do clima para esta região semi-árida. A temperatura do ar média anual é de 26,5°C, com pouca oscilação entre os meses e anos, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

A fazenda Sasaki, localizada no lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, apresenta um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 1999), que se caracteriza por apresentar solos profundos, não-hidromórficos, de textura arenosa (classes texturais areia e areia franca), com permeabilidade rápida ao longo de todo o perfil, o qual é destituído de minerais primários facilmente intemperizáveis (CURI et al., 1993).

Em geral, os solos pertencentes a essa classe têm textura arenosa, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (QUAGLIA et al., 1989).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área (área K, com 3,2 ha, e 40 fileiras de plantas e 41 plantas por fileiras) com um pomar de videira cultivar Crimson Seedless sobre o porta-enxerto IAC 313, plantada em setembro de 2005, no espaçamento de 5 x 4 m e irrigada por microaspersão, com 2 emissores por planta. Dentro da área K, foi selecionada a subárea K2, com 0,8 ha, 10 fileiras de plantas e 41 plantas por fileiras, onde foram escolhidos três pontos do setor central da subárea para a coleta das amostras de solo com o auxílio de um trado

(amostras deformadas), para a obtenção da relação entre o potencial matricial e a quantidade de água presente no solo, que representa a curva de retenção de água no solo, nas camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade. Os solos coletados nos três pontos foram homogeneizados por camada, formando uma amostra composta para cada profundidade. Em seguida, tais amostras foram subdivididas em três subamostras, as quais foram encaminhadas para a determinação da curva de retenção por diferentes metodologias. Nos mesmos três pontos, foram abertas pequenas trincheiras para a coleta, nas mesmas profundidades, de amostras indeformadas de solo, por meio de anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo, no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semi-Árido. Para o estabelecimento das curvas de retenção de água no solo, determinaram-se os seguintes atributos físico-hídricas: potencial de água no solo (MPa) e umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) das amostras. Estabeleceu-se a capacidade de campo a umidade correspondente a 0,006 MPa e ponto de murcha permanente a umidade à 1,5 MPa, concordando com (REICHARDT, 1988).

Para todas as metodologias de determinação da curva de retenção empregadas nesse estudo foram utilizadas amostras deformadas de solo, devido às dificuldades de obtenção de amostras indeformadas dada à natureza do solo (arenoso) e de transporte das mesmas amostras do local do experimento para os laboratórios em Petrolina – PE e Botucatu – SP, sem que ocorresse destruição do solo indeformado.

Os procedimentos utilizados pelos métodos da centrífuga (C) e da câmara de Richards (R) são parecidos, ou seja, há o preenchimento de anéis com determinado volume por amostras deformadas de solo, enquanto que no método de Arya & Paris (AP) as informações referentes à distribuição de partículas do solo são levadas em consideração para a obtenção da curva de retenção.

A análise granulométrica do solo da área experimental, realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) para as profundidades de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semi-Árido, está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica nas três profundidades de estudo.

| Profundidade<br>(m) | Granulometria (g Kg <sup>-1</sup> ) |       |       |       |        |
|---------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                     | AT                                  | AG    | AF    | Silte | Argila |
| 0,0-0,20            | 938,1                               | 553,1 | 385,0 | 6,3   | 55,6   |
| 0,20-0,40           | 935,4                               | 494,3 | 441,2 | 6,4   | 58,2   |
| 0,40-0,60           | 907,4                               | 479,3 | 428,1 | 18,7  | 73,9   |

AT = areia total; AG = areia grossa; AF = areia fina.

### Método da Câmara de Richards (R)

As amostras de solo deformadas coletadas nas camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), campus de Botucatu, para a determinação da relação entre o potencial matricial e a quantidade de água presente no solo pelo método da câmara de Richards. As amostras, após passagem por peneira de 2 mm, foram secas em estufas, colocadas em anéis de borracha e saturadas. Em seguida os anéis de borracha com solo foram submetidos às tensões de 0, 006; 0,01; 0, 033; 0,06; 0,1 e 1,5 MPa. Para cada valor de pressão, ao cessar a drenagem de água da câmara, as amostras foram pesadas para a obtenção da massa úmida em seguida foram secas em estufa a 105°C por 24 horas e pesadas novamente para obtenção da massa seca. Assim, a umidade gravimétrica ou a base de massa foi calculada pela relação:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (1)$$

em que:

U - umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>);

m<sub>u</sub> - massa úmida (kg);

m<sub>s</sub> - massa seca (kg).



Com base nos valores de U obtidos e nos valores de densidade do solo obtidos anteriormente, calculou-se a umidade volumétrica ou a base de volume:

$$\theta = U \cdot d_g \quad (2)$$

em que:

$\Theta$  - umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

U - umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$d_g$  - densidade do solo ( $\text{kg. m}^{-3}$ ).

### **Método da Centrifuga (C)**

A obtenção da relação entre o potencial matricial e a quantidade de água presente no solo por meio do método da centrifuga foi realizada no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina – PE, onde as amostras das camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foram saturadas, por 72 horas, com uma lâmina de água de aproximadamente 4 cm de altura, para avaliação de seu conteúdo volumétrico na saturação. Com a saturação do solo o processo de centrifugação gera tensão de umidade decrescente ao longo do eixo de rotação da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002). Para este estudo foram aplicadas rotações de 600, 800, 1.400, 2.000, 2.400 e 9.200 rpm, correspondentes às tensões médias de 0,006; 0,01; 0,03; 0,06; 0,1 e 1,5 MPa para tanto foi utilizado um período de centrifugação de 3 horas (SILVA; AZEVEDO, 2002). Após o período de centrifugação foi realizada a pesagem da umidade restante nas amostras em estudo resultando assim nas informações necessárias para a obtenção da curva de retenção para cada profundidade amostrada. Os procedimentos de cálculo para a conversão de rotação em tensão e as características da centrífuga encontram-se descritos em SILVA; AZEVEDO (2001).

### Método de Arya & Paris (AP)

No método de Arya & Paris (1981) a curva de retenção é obtida por meio do software Qualisolo (Naime et al., 2004), que utiliza como fundamento a DTP proveniente do analisador granulométrico (Figura 1), desenvolvido e construído na Embrapa Instrumentação Agropecuária (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001).

A metodologia que subsidia a determinação da DTP do solo toma por base a atenuação de um feixe de raios gama - Lei de Beer-Lambert - (Eq. 3), utilizada para calcular a concentração (Eq. 3) em diferentes alturas da amostra (NAIME et al., 2001). Assim:

$$c = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{x \left( \mu_p^* - \frac{\mu_w^* \cdot D_w}{D_p} \right)} \quad (3)$$

em que:

C - a concentração em diferentes alturas da amostra;

x - é a espessura interna do recipiente;

I<sub>0</sub> - ao número de fótons que cruza o recipiente quando ele está preenchido com água (contagem por segundo, cps);

I - ao número de fótons que cruza o recipiente quando ele está com solução de solo (contagem por segundo, cps).

\* μ<sub>p</sub> e \* μ<sub>w</sub> - são os coeficientes de atenuação em massa do solo e água (m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

D<sub>w</sub> e D<sub>p</sub> - são a densidade de partículas do solo e água (kg m<sup>-3</sup>), respectivamente.



Figura 1. Analisador granulométrico automático (NAIME et al. 2001).

Para a granulometria esse método é acrescido do princípio da sedimentação de partículas em um meio líquido - lei de Stokes – (Eq. 4) o qual depende da viscosidade e da aceleração da gravidade (VAZ et al., 1997). Assim:

$$t = \left( \frac{18h\eta}{d^2g(D_p - D_w)} \right) \quad (4)$$

em que:

t - é o tempo em que devem ser feita as medidas da atenuação para calcular o diâmetro d da partícula (s);

h - a altura em que devem ser feita as medidas da atenuação para calcular o diâmetro d da partícula (cm);

$\eta$  - é a viscosidade da água (poise);

d - é o diâmetro das partículas correlacionadas a concentração (m);

g - é a aceleração da gravidade ( $\text{cm/s}^2$ );

$D_w$  e  $D_p$  - são a densidade de partículas do solo e água ( $\text{g/cm}^3$ ), respectivamente.

No laboratório, as amostras de cada profundidade foram secas à temperatura ambiente, peneiradas em malha de 2 mm (EMBRAPA, 1997).

Posteriormente, foi determinado o coeficiente de atenuação em massa (VAZ et al., 1997).

Após 24 horas em estufa a 105 °C, o solo foi pesado e seu valor inserido como um dos dados de entrada do software para execução das análises granulométricas. A determinação do coeficiente de atenuação em massa foi obtida preenchendo-se um recipiente retangular de acrílico (0,05 x 0,05 x 0,08 m) com solo previamente seco e peneirado de cada profundidade; esse recipiente foi pesado ainda vazio e medido o número de fótons transmitidos através do recipiente vazio ( $I_0$ ) e com solo ( $I$ ) e a espessura ( $x$ , cm) que o feixe percorre no interior da amostra (PEDROTTI et al., 2003). Para isso utilizou-se uma sub-rotina do programa para obtenção da distribuição do tamanho de partículas (VAZ et al., 1997).

As dispersões químicas (Figura 2) e física (Figura 3) das partículas de solo, de acordo com a metodologia descrita por Vaz et al. (1997), consistem, respectivamente, em adicionar 10 ml de NaOH (1N) em cada alíquota de solo e deixado em repouso por no mínimo 12 horas (Figura 2), procedendo-se à dispersão das partículas de solo em um agitador, modelo 936-2 da Hamilton Beach, em média rotação por 15 minutos (Figura 3).



Figura 2. Dispersão química das partículas de solo (ANGELOTTI NETTO, 2007).



Figura 3. Detalhes da dispersão física das partículas de solo (ANGELOTTI NETTO, 2007).

Após esse processo, a solução contendo partículas de solo, água e NaOH, foi transferida para recipientes retangulares de acrílico (0,05 x 0,05 x 0,2 m), acrescentando-se água destilada até que a solução atingisse a concentração de 100 g/l, ou seja, 0,16 m de altura (VAZ et al., 1999).

Os recipientes contendo essa solução foram colocados no analisador granulométrico para medidas de atenuação da radiação em intervalos de espaço e tempo previamente definidos, em diferentes alturas do recipiente contendo as partículas em sedimentação (OLIVEIRA et al., 1997).

Na Figura (4) é apresentada a interface do programa Qualisolo; no canto superior esquerdo da tela principal são apresentados, em forma de tabela, os dados da análise granulométrica (concentração x diâmetro de partículas) e os 20 pares de pontos ( $h$ ,  $\theta$ ) calculados da curva de retenção pelo método AP.

Abaixo, no quadro de resultados, são apresentados os parâmetros da interpolação sigmoideal da distribuição de tamanhos de partículas (DTP), os parâmetros da equação do modelo de Van Genuchten (1980), S, a condutividade hidráulica na umidade ótima de manejo e as umidades limite inferior, ótima e limite superior de manejo. A DTP é apresentada no gráfico superior indicando os pontos medidos pelo analisador e representando a função sigmoideal. Na curva de retenção são mostrados os 20 pontos calculados pelo método AP e a interpolação na equação do modelo de Van Genuchten (1980). Durante os cálculos, o programa ajusta todos os parâmetros dos modelos de interpolação de forma a minimizar o erro médio quadrático em relação aos pontos experimentais, para o

caso da análise granulométrica, ou em relação aos pontos do método AP para os parâmetros da equação de Van Genuchten (NAIME et al., 2006).

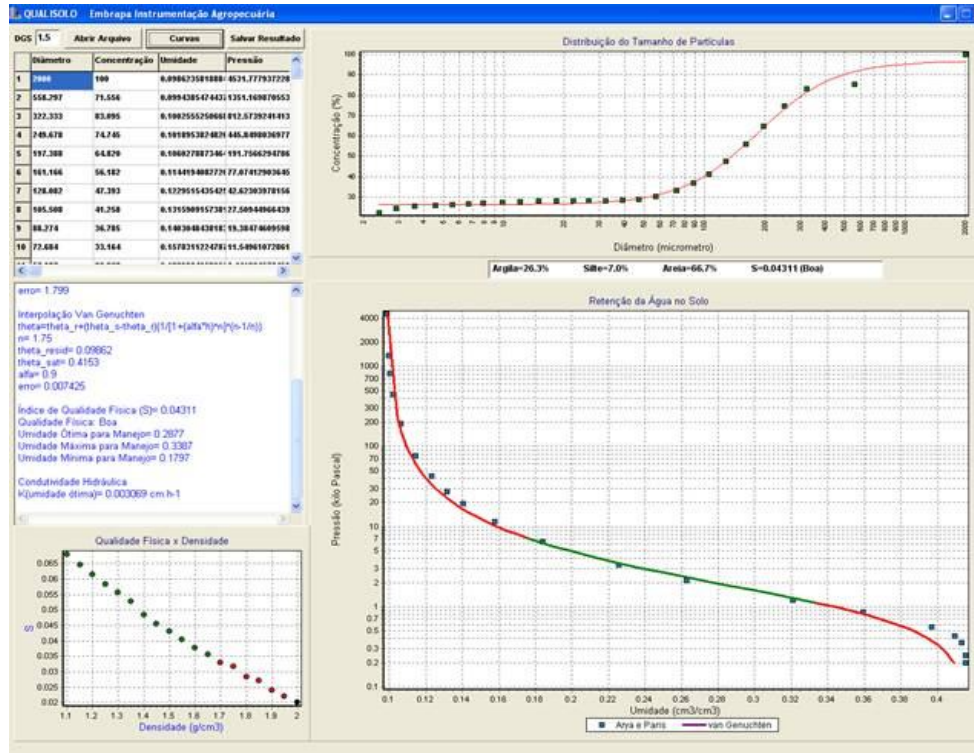


Figura 4. Detalhes da interface do programa qualisolo (NAIME et al., 2004).

O modelo desenvolvido por Van Genuchten (1980), indicado como um dos mais adequados na representação do fenômeno da retenção da umidade no solo (Van Genuchten; Nielsen, 1985; Kool et al., 1987; Silva, 1990), também foi utilizado para ajustar os dados obtidos a partir dos resultados observados pelos métodos da câmara de Richards e da centrífuga. Para tanto, se fez uso do software “Soil Water Retention Curve, versão Beta 3.0” – SWRC (Dourado Neto et al., 2000), para o ajuste ao modelo de Van Genuchten (1980), fixando-se a umidade residual e de saturação aos mesmos valores obtidos a partir da análise laboratorial para os métodos da câmara de Richards e da centrífuga. Para o método Arya & Paris, tais parâmetros já são fornecidos e ajustados ao modelo de Van Genuchten (Eq. 4) pelo aplicativo Qualisolo. Os parâmetros  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ , apesar de não terem um significado físico, atuam conjuntamente na determinação

do comportamento de cada curva de retenção, onde qualquer alteração em um desses parâmetros pode ser compensada pela alteração em outro. Portanto:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \Psi_m|^n\right]^m} \quad (5)$$

em que:

$\theta_r$  . Umidade volumétrica residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_s$  . Umidade volumétrica de saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\psi_m$  - Potencial matricial (MPa);

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  - Parâmetros empíricos da equação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos de textura arenosa são caracterizados, por apresentarem uma baixa capacidade de retenção de água, alta suscetibilidade aos processos de erosão, além de baixa estruturação física do solo (COSTA, 2007).

De acordo com a Figura 5, que fornece o ajuste das curvas características de água no solo pelos métodos de Arya & Paris (AP), câmara de Richards (R) e da centrífuga (C) nas camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foi possível observar uma boa similaridade entre os resultados obtidos pelos métodos C e R para as profundidades e tensões avaliadas, comportamento também observado por CENTURION et al.,(1997).

Na comparação entre as três metodologias, verifica-se uma maior proximidade no comportamento das curvas para valores de tensão superiores a 0,1 MPa, ou seja, no intervalo de tensão onde a maior dependência no comportamento da curva está vinculada a textura e a superfície específica das partículas, tal comportamento também verificado por Feliciano (2005) ao analisar métodos alternativos para obtenção da curva de retenção da água no solo. Dessa forma o efeito da estrutura sobre a retenção de água vai sendo reduzido, e tem-se um aumento acentuado do efeito da granulometria do solo (URACH, 2007).

Os resultados da análise da curva proveniente da metodologia desenvolvida por Arya & Paris (1981) permite verificar uma similaridade na quantidade de água retida em função da tensão aplicada para todas as profundidades em estudo, sendo tal comportamento mais uniforme para tensões superiores a 0,1 MPa. Essa situação é compreensível já que em elevados potenciais matriciais de água no solo, as forças capilares são mais atuantes e nessa faixa de potencial a textura e a estrutura do solo determinam a quantidade de água retida pelos poros do solo. Conforme Urach (2007), com a redução gradativa do potencial matricial diminuem as forças capilares e aumentam os fenômenos de adsorção da água no solo pela diminuição da espessura do envelope que envolve as partículas do solo e aumenta a energia de retenção da água.

Angelotti Netto et al. (2004) ao analisar os trabalhos de Vaz et al. (1996), Vaz et al. (1997), Vaz et al. (2003) e (Martin Neto et al., 2003), em que é comparada a técnica de determinação granulométrica por raios gama com os métodos convencionais, concluíram que o analisador fornece resultados da composição granulométrica análogos aos métodos tradicionais. No entanto, neste estudo, tal analogia não obteve correspondência ao comparar a curva de retenção de água no solo pelo método AP com técnicas mais tradicionais de obtenção deste parâmetro.

A granulometria altamente arenosa do solo em estudo é um fator que exerce grande influencia no comportamento da curva de retenção de água. Segundo Buckman e Brady (1979), a areia possui reduzida capacidade de retenção de água causada pelo grande espaço entre as partículas granulométricas e o rápido escoamento de água de percolação. Em solos arenosos, normalmente os poros são maiores, sendo mais rapidamente esvaziado a baixas tensões, restando pequenas quantidades de água retidas a potenciais menores, o que explica a inclinação acentuada da curva de retenção de água (HILLEL, 1982).



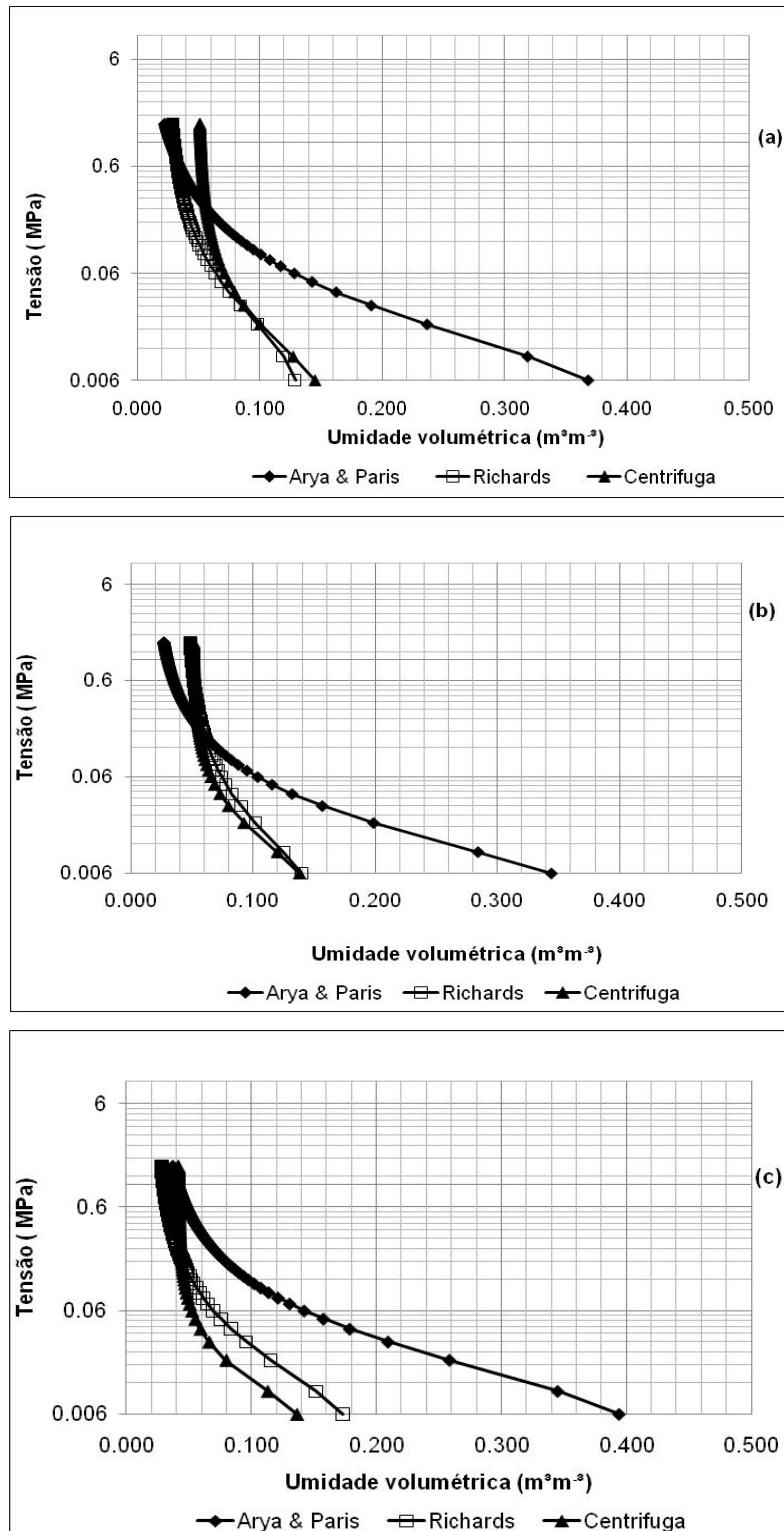


Figura 5. Curvas de retenção obtidas pelos métodos Arya & Paris (AP), câmara de Richards (R) e centrífuga (C), nas camadas de 0,0-0,20 m (a); 0,20-0,40 m (b) e 0,40-0,60 m de profundidade (c).

Em baixas tensões (0 à 0,1 MPa) o comportamento da curva adquirida pelo método AP apresentou um comportamento discrepante ao verificado pelos métodos R e C para as mesmas tensões aplicadas.

De uma maneira geral para as três metodologias (Figura 5), pode-se verificar uma maior retenção de água para tensões inferiores a 0,01 MPa. Tais resultados corroboram com as observações de Urach (2007), ao avaliar estimativas da retenção para fins de irrigação, onde ele observou um efeito negativo da areia sobre a retenção de água, indicando que solos arenosos possuem menor capacidade de reter água.

Da análise da Figura 5, é possível observar uma maior retenção de água em profundidade para todos os métodos testados, fato este atribuído a forte influência exercida pelas frações mais finas do solo (argila+silte) sobre a retenção de água (ANGELOTTI NETTO, 2007).

Centurion e Andrioli (2000), ao caracterizarem propriedades hídricas de solos, observaram que a retenção de água no solo correlacionou-se melhor com a soma dos teores de silte e argila. Righes et al. (1983) ao analisarem a curva de retenção de água em diferentes profundidades, observou que o comportamento da curva de retenção de água quando submetida a potenciais inferiores a 0,033 MPa obedece, particularmente, a variação da composição granulométrica das diferentes camadas. Porém, quando as amostras de solo foram submetidas a potenciais igual ou superior a 0,033 MPa, tal fato não ocorreu, sendo contrário à variação da composição granulométrica.

Outro fator que também apresenta bastante relevância no comportamento das curvas de retenções avaliadas é o fenômeno da histerese que é caracterizado pelo caráter não unívoco entre a sucção matricial e a umidade durante o processo de secagem e molhamento do solo. Tal desempenho torna-se comum principalmente sob baixas sucções, já que para solos com elevadas percentagens de areia, como os utilizado nesse estudo, os poros podem esvaziar-se sob sucções maiores da qual eles se enchem, provocando variações mais bruscas na curva de retenção (SILVA, 2005).

A curva de retenção obtida pelo método AP (Figura 6), revelou valores de umidade volumétrica próximos aos verificados por Vaz et. al. (2003) em solos

arenosos, ao estimarem a retenção de água no solo estimada através da medida de distribuição do tamanho das partículas do solo.

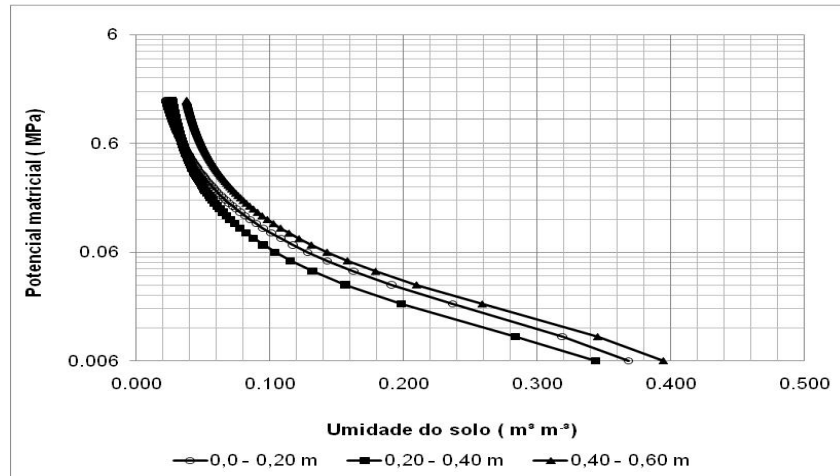


Figura 6. Curva de retenção de água no solo para as camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade pelo método de Arya & Paris (1981).

O comportamento da curva de retenção obtida pelo método AP segue um comportamento similar ao observado por Angelotti Neto (2007), ao estimar a curva de retenção a partir de análises tomográficas do solo, onde para uma mesma condição de solo e tensão aplicada à umidade determinada por esse método foi superior a aquela obtida pelo método da câmara de Richards.

A determinação da curva de retenção obtida pelo método de Richards para as camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade estão representados na Figura 7, onde é possível observar uma retenção maior da umidade do solo em profundidade para tensões inferiores a 0,1 MPa. Observa-se também uma forte aproximação dos dados no intervalo de tensão de 0,01 à 1,5 MPa entre as camadas de 0,0-0,20 m e 0,40-0,60 m de profundidade, enquanto que a profundidade de 0,20-0,40 m reteve uma maior quantidade de água para uma mesma tensão aplicada no intervalo de 0,06 à 1,5 MPa. Em tensões inferiores a 0,03 MPa observa-se um maior conteúdo de água retida pela camada de 0,40-0,60 m de profundidade. O desempenho observado em baixas sucções pode ser atribuído ao uso de amostras deformadas, já que segundo Carvalho e

Lima (2000), nessa situação a retenção é altamente influenciada pela estrutura do solo.

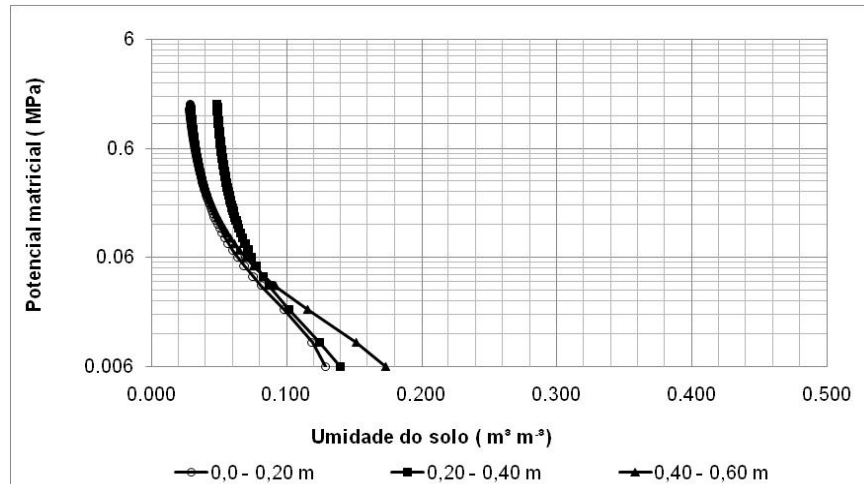


Figura 7. Curva de retenção de água no solo para as camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade pelo método da câmara de Richards.

A interpretação da curva de retenção obtida pelo método de Richards (Figura 7) permite afirmar que a redução do potencial matricial resulta em maior quantidade de água retida pelo solo para a camada de 0,40-0,60 m de profundidade, onde foi observada a maior concentração de argila. Tal tendência também foi verificada por Petry (2000) para profundidades maiores que 0,20 m, verificando aumento da retenção de água no solo em maiores teores de argila. Correia et al. (2008) ao caracterizar a capacidade de retenção em Neossolo Quartzarênico observou a importância da estrutura desse tipo de solo quanto à retenção de umidade, onde a maior retenção se encontra em torno de 0,061 MPa.

Na Figura 8 está apresentada a curva de retenção obtida pelo método da centrifuga, a qual revelou uma redução da umidade retida em profundidade, fato este já relatado por Oliveira Jr. et al. (1996), em trabalho sobre caracterização físico-hídrica de solos (quatro LATOSSOLOS e um PODZÓLICO) no Paraná, onde foi verificada uma diminuição da retenção de água em profundidade, sendo que os maiores valores de umidade na superfície foram atribuídos provavelmente aos teores mais elevados de matéria orgânica. Observa-se também uma aproximação muito grande entre as camadas de 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m de

profundidade, em tensões inferiores a 0,01 MPa em termos de volume de água retida.

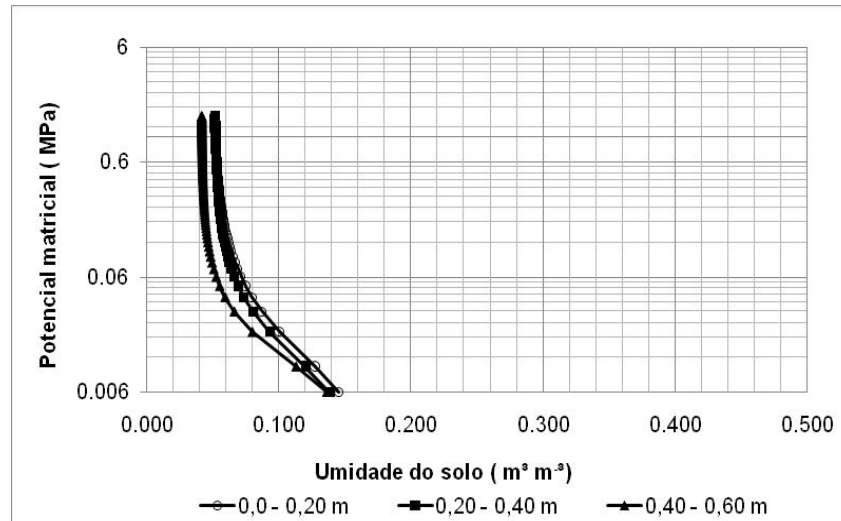


Figura 8. Curva de retenção de água no solo para as camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, pelo método da centrífuga.

O ajuste da umidade do solo nas profundidades em função do potencial mátrico, pelo modelo de Van Genuchten (1980), mostrou-se bastante similar entre as profundidades para um mesmo método. Porém, entre os métodos testados foi possível observar uma diferença acentuada com destaque para a umidade de saturação determinada pelo método Arya & Paris que esteve sempre superior à umidade de saturação observada pelos demais métodos. Os parâmetros empíricos do ajuste estão apresentados na Tabela 2.

Ao analisar-se o método da centrífuga verificou-se uma tendência crescente dos valores em profundidade enquanto que nos demais métodos não é possível prever um comportamento na distribuição dos dados. Para todas as metodologias e profundidades testadas o parâmetro  $n$  assumiu valores superiores a 1. De acordo com Engler (2007), valores de  $n$  próximos a 1 refletem uma menor inclinação no ponto de inflexão, indicando uma maior uniformidade na distribuição do tamanho dos poros e tornando o significado do ponto de inflexão menor, condição característica em solos que possuem em sua composição uma maior fração de areia. Para Tavares et al. (2007), solos arenosos tendem a possuir uma

curva de retenção com declividade maior, refletindo a pequena variação dos tamanhos dos poros e para esta situação são esperados valores maiores para o parâmetro  $n$ .

Tabela 2. Parâmetros da equação do modelo de Van Genuchten para as camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, pelos métodos de Arya & Paris, câmara de Richards e centrífuga.

| Profundidade<br>(m) | Arya & Paris              |       |       |                                     |                                     |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                     | $\alpha(\text{MPa}^{-1})$ | $m$   | $n$   | $\Theta_r(\text{m}^3\text{m}^{-3})$ | $\Theta_s(\text{m}^3\text{m}^{-3})$ |
| <b>0,0-0,20</b>     | 0,112                     | 0,394 | 1,650 | 0,007                               | 0,433                               |
| <b>0,20-0,40</b>    | 0,144                     | 0,422 | 1,730 | 0,019                               | 0,433                               |
| <b>0,40-0,60</b>    | 0,100                     | 0,415 | 1,710 | 0,025                               | 0,452                               |
|                     | Richards                  |       |       |                                     |                                     |
| <b>0,0-0,20</b>     | 0,073                     | 0,413 | 1,700 | 0,025                               | 0,139                               |
| <b>0,20-0,40</b>    | 0,133                     | 0,398 | 1,660 | 0,045                               | 0,162                               |
| <b>0,40-0,60</b>    | 0,112                     | 0,411 | 1,700 | 0,023                               | 0,201                               |
|                     | Centrifuga                |       |       |                                     |                                     |
| <b>0,0-0,20</b>     | 0,123                     | 0,459 | 1,850 | 0,050                               | 0,167                               |
| <b>0,20-0,40</b>    | 0,118                     | 0,499 | 2,000 | 0,051                               | 0,158                               |
| <b>0,40-0,60</b>    | 0,121                     | 0,541 | 2,180 | 0,041                               | 0,160                               |

Engler (2007) ao avaliar o desenvolvimento de metodologia para a determinação do movimento de água no solo relatou que o parâmetro  $\alpha$  está associado ao ponto de inflexão da curva de retenção onde valores elevados deste parâmetro indicam o ponto de inflexão em valores de potenciais pouco negativos.

Os resultados encontrados para o parâmetro  $\alpha$  no presente estudo revelaram uma grande variação nos valores obtidos, impossibilitando assim observar tendências de comportamento. Tal fato também verificado por Martinez et al. (1995), ao estudarem o comportamento deste parâmetro em 26 solos.

Os valores de umidade residual,  $n$  e  $\alpha$  encontrados para o método da centrifuga se aproximam dos valores também verificados por Silva e Azevedo (2002), quando utilizou um período de centrifugação igual á 180 minutos para um Neossolo Quartzarênico, com características físicas próximas ao solo utilizado nesse estudo.

A água retida na capacidade de campo (CC), tensão de 0,006 MPa, variou entre 0,344 a 0,394  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , enquanto o ponto de murcha permanente (PMP), tensão de 1,5 MPa, variou entre 0,022 a 0,037 $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , para a metodologia de AP (Tabela 3). Para esses mesmos parâmetros ao utilizar o método de R à umidade retida na CC esteve entre 0,129 a 0,173  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , enquanto que os valores verificados no PMP estiveram compreendidos entre 0,028 a 0,049  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ; para o método C o intervalo de valores observados para a CC e PMP foram respectivamente 0,137 a 0,145  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , e 0,041a 0,052  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ .

Segundo Cassel et al. (1983), o conhecimento dos limites superior e inferior de disponibilidade de água para as plantas é importante para muitas aplicações agrícolas, sendo considerada a CC como o limite superior e o PMP como o limite inferior de umidade no solo. Comumente a disponibilidade de água ás plantas é calculada pela diferença entre a água retida a CC e no PMP. A água à capacidade de campo representa o conteúdo máximo de água remanescente no solo ápos 2 ou 3 dias depois de drenado o excesso e a taxa de movimento descente ter decrescido fortemente, considerando solos com perfil de textura e estrutura uniformes (PERAZA, 2003).

Tabela 3. Umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em diferentes tensões e profundidades para os métodos de determinação da curva de retenção Arya & Paris (AP), câmara de Richards (R) e centrífuga (C).

| Profundidade<br>(m) | Potencial matricial (MPa)   |       |       |       |       |       |
|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     | 0,006   | 0,01  | 0,03  | 0,06  | 0,1   | 1,5   |
| <b>0,0-0,20</b>     | <b>Umidade volumétrica (<math>\text{m}^3\text{m}^{-3}</math>)</b> |       |       |       |       |       |
| <b>A - P</b>        | 0,368   | 0,319 | 0,191 | 0,128 | 0,095 | 0,022 |
| <b>R</b>            | 0,129   | 0,119 | 0,085 | 0,064 | 0,053 | 0,029 |
| <b>C</b>            | 0,145   | 0,127 | 0,087 | 0,071 | 0,064 | 0,051 |
| <b>0,20-0,40</b>    | <b>Umidade volumétrica (<math>\text{m}^3\text{m}^{-3}</math>)</b> |       |       |       |       |       |
| <b>A - P</b>        | 0,344   | 0,284 | 0,157 | 0,104 | 0,078 | 0,027 |
| <b>R</b>            | 0,140   | 0,125 | 0,090 | 0,074 | 0,066 | 0,049 |
| <b>C</b>            | 0,138   | 0,120 | 0,080 | 0,066 | 0,060 | 0,052 |
| <b>0,40-0,60</b>    | <b>Umidade volumétrica (<math>\text{m}^3\text{m}^{-3}</math>)</b> |       |       |       |       |       |
| <b>A - P</b>        | 0,394   | 0,345 | 0,210 | 0,142 | 0,108 | 0,037 |
| <b>R</b>            | 0,173   | 0,152 | 0,096 | 0,070 | 0,056 | 0,028 |
| <b>C</b>            | 0,137   | 0,113 | 0,066 | 0,052 | 0,047 | 0,041 |

No solo em estudo a retenção de água a capacidade de campo estimada pelo método AP, foi superior a estimada pelos métodos da C e R os quais apresentam valores correspondentes as outras tensões submetidas. É possível verificar uma maior similaridade entre os três métodos testados em tensões superiores a 0,1 MPa. Na tensão correspondente a 1,5 MPa, situação onde a sucção é considerada elevada observou-se uma baixa capacidade de retenção da umidade no solo.



A Figura 9 mostra a correlação entre umidades estimadas pelos métodos R X AP, C X AP e C X R para a camada de 0,0 - 0,20 m. Todas as comparações de métodos testados obtiveram alto coeficiente de correlação com  $R^2$  superiores a 0,975. Segundo Urach (2007), em relações do tipo 1:1 a precisão do resultado é maior quanto menos pontos dispersarem em relação à linha principal, a qual representaria o ajuste perfeito. Da correlação R X AP (Figura 9a), é possível observar uma superestimação dos valores observados pelo método AP em relação aos determinados por R, comportamento similar também é observado na correlação C X AP (Figura 9b), onde a variação na umidade em AP é superior a verificada pela C superestimando assim tal metodologia, a correlação C X R (Figura 9c), apresentou a melhor concordância entre os métodos testados, sendo, portanto mais precisa a correlação existente entre tais métodos, com uma leve superestimação do método C em relação ao método R em valores mais altos de umidade.

Nas camadas de 0,20-0,40 m e 0,40 a 0,60 m de profundidade (Figuras 10 e 11) é possível observar uma tendência similar no comportamento da correlação da umidade entre os métodos testados, sendo constante a superestimação da umidade obtida pelo método AP em comparação aos métodos da C e de R. A correlação entre os métodos R X C (Figura 10 e 11 c) apresenta uma maior precisão dos dados calculados, caracterizando-se também por apresentar uma pequena variação no intervalo de dados de umidade, quando compara-se com as correlações provenientes dos métodos AP X R (Figura 10 e 11 a) e AP X C (Figura 10 e 11 b), no entanto observou-se uma leve superestimação do método de R em relação a metodologia da C.

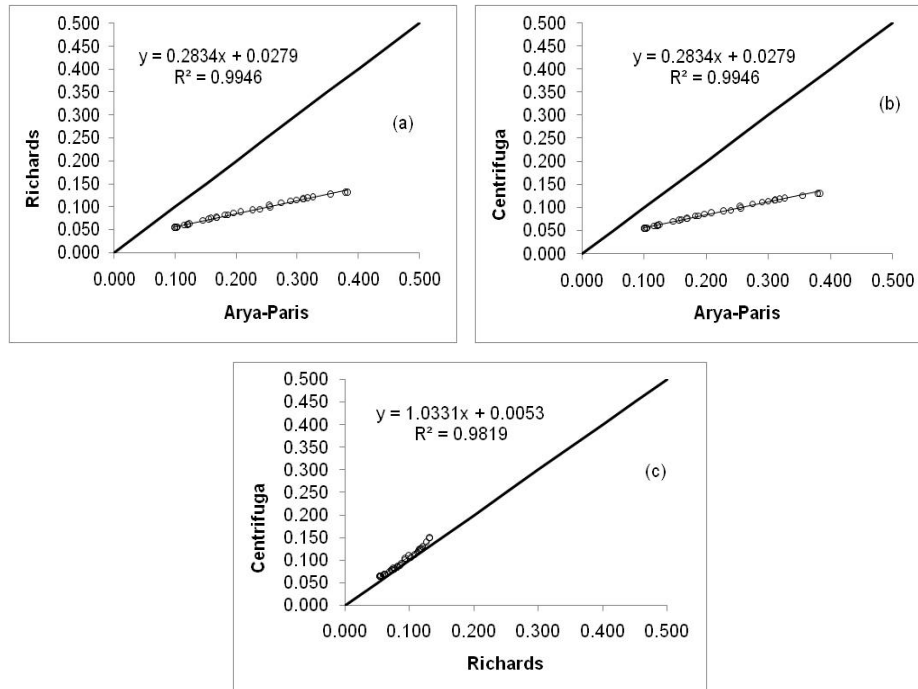


Figura 9. Correlação entre umidades calculada para os métodos da câmara de Richards X Arya & Paris (a), centrifuga X Arya & Paris (b) e centrifuga X câmara de Richards (c), para a camada de 0,0-0,20 m de profundidade.

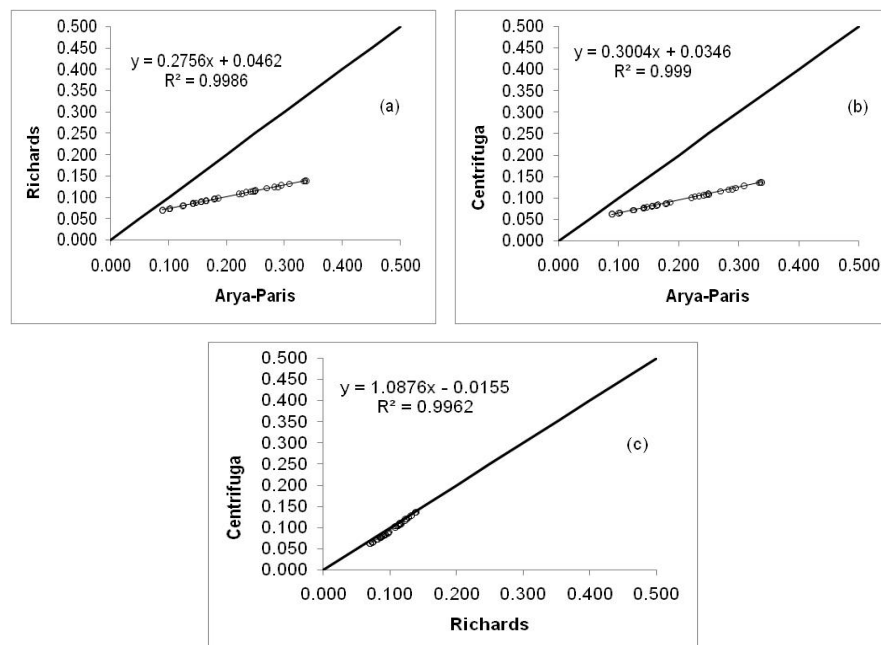


Figura 10. Correlação entre umidades calculada para os métodos da câmara de Richards X Arya & Paris (a), centrifuga X Arya & Paris (b) e centrifuga X câmara de Richards (c), para a camada de 0,20-0,40 m de profundidade.

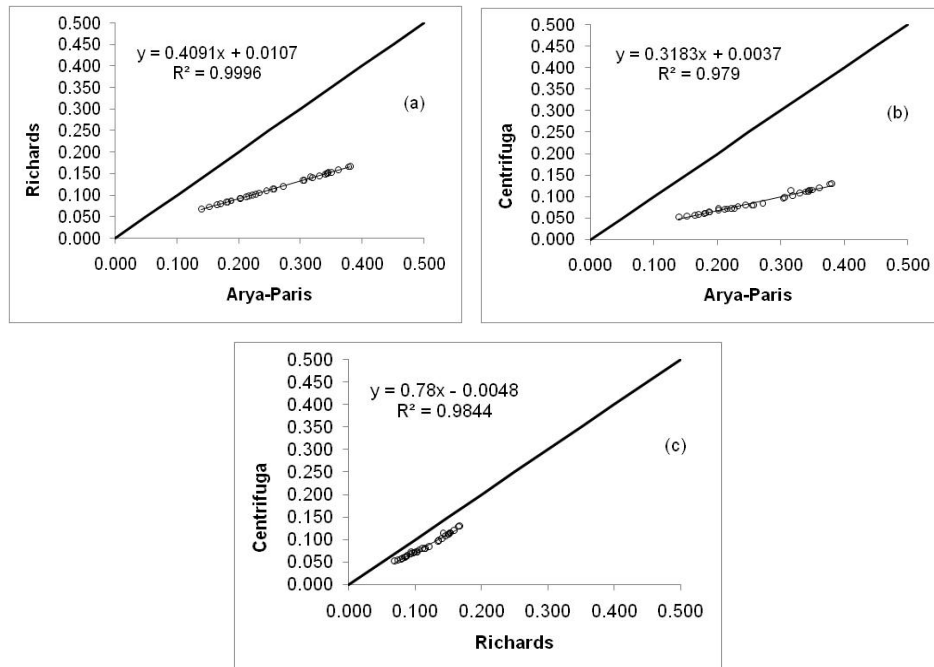


Figura 11. Correlação entre umidades calculada para os métodos da câmara de Richards X Arya & Paris (a), centrifuga X Arya & Paris (b) e centrifuga X câmara de Richards (c), para a camada de 0,40-0,60 m de profundidade..

A utilização do método AP para descrever retenção e a umidade do solo não conseguiu obter correspondência com nenhum dos métodos tradicionalmente utilizados (C e R). Tal desempenho pode estar atribuído a descrição minuciosa da granulometria utilizada para a obtenção da curva de retenção pelo método AP, já que o mesmo faz uso do analisador granulométrico de partículas solo que tem por princípio o fornecimento de resultados padronizados e com boa precisão. Outro fato a se destacar é que no sistema de produção de uva no Sub-médio São Francisco, a aplicação de composto e/ou esterco para aumentar a quantidade de matéria orgânica do solo é prática comum. Na área em questão, a aplicação é feita anualmente, por meio de aberturas de covas até 0,6 m de profundidade, ao lado do tronco da videira. O local da abertura de cova varia de um ano para outro, a fim de permitir uma melhoria do solo ao redor de toda a planta. Essa aplicação de composto e/ou esterco pode ter contribuído para uma maior quantidade de partículas de menor tamanho (matéria orgânica) no solo em estudo.

Para Skopp (2000), a distribuição do tamanho de partículas, é a propriedade física mais importante de um solo, influenciando na maioria de suas propriedades físicas. A divergência de dados verificada ao relacionar os métodos da C e R com a metodologia desenvolvida por AP também pode estar atribuída às diferenças granulométricas entre o solo utilizado por Vaz et al. (2005), durante a elaboração da função de pedotransferência que descreve a curva de retenção pelo método AP e a granulometria do solo onde foi desenvolvido o presente estudo. Situação também verificada por Urach (2007), ao concluir que as funções de pedotransferências são mais eficientes quando utilizadas para estimar a retenção em solos com características similares aos utilizados na geração das equações.

## **CONCLUSÕES**

1. Para potenciais inferiores a 0,1 MPa, os valores de umidade do solo estimados pela curva de retenção obtida pelo método Arya & Paris foram superiores aos valores de umidade determinados pelos métodos de Richards e da centrifuga á mesma tensão.

2. Os valores de umidade estimados pela curva de retenção obtida pelo método da centrífuga se aproximaram dos valores estimados pelo método de Richards.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELOTTI NETTO, A. **Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso de equipamentos não convencionais, redes neurais artificiais e funções de pedotransferência.** 2007. 176.f Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

ANGELOTTI NETTO, A. et al. Novos métodos e equipamentos para caracterização física dos solos. In: VILAR, O.M. (Ed.). **Solos não saturados.** São Carlos: USP; Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2004. v.1. p.3-8.

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal** Madison, v. 45, p. 1023-1030, 1981.

ARYA, L. M.; DIEROLF, T. S. Predicting soil moisture characteristics from particle-size distribution: an improved method to calculate pore radii from particle radii: In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INDIRECT METHODS FOR ESTIMATING THE HIDRAULIC PROPERTIES OF UNSATURATED SOILS, 1992, Riverside. **Proceedings...**, Riverside, CA.: [s.n.], 1992. p. 115-125.

ARYA, L. M. et al. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. **Soil Science Society of America Journal.** Madison, v. 63, p.1063-1070, 1999.

ASSOULINE, S.; TESSIER, D.; BRUAND, A. A conceptual model of the soil water retention curve. **Water Resources Research**, Arizona, v.34, p.223-231, 1998.

BROOKS, R.H.; COREY, A.T. Properties of porous media affecting fluid flow. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v.92, p.61-88, 1966.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos.** 5 ed. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1979. 647p.

CARVALHO, J. M. de.; LIMA, L. A. Influência da adição de hidróxido de sódio na retenção de água de um latossolo vermelho-escuro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.450-457, abr./jun.2000.

CASSEL, D. K.; RATLIFF, L.F.; RITCHIE, J. T. Models for estimating in situ potential extractable water using soil physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.764-769, 1983.

CENTURION, J.F.; MORAES, M.H.; DELLA LIBERA, C.L.F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.173-179, 1997.

CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.701-709, 2000.

CRESTANA, S. Técnicas recentes de determinação de características do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10.1994, Florianópolis- SC. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994.p.86-97.

CORREIA, G. G. et al. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, p. 156-162, 2008.

COSTA, C. da S. **Utilização do estéril da extração do gesso, como condicionador das propriedades físicas de um Neossolo Quartzarênico do sertão de Pernambuco**. 2007. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.

DOURADO-NETO, D. et al. Programa computacional para modelagem de curvas de retenção de água no solo (SWRC, versão 2.00). **Scientia Agrícola, Piracicaba**, vol.57, n.1, p.191-192, jan./mar. 2000.

EMBRAPA./CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA./ Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ENGLER, M. P. de C. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo**. 2007. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2007.

FELICIANO, J. J. S. **Métodos alternativos para obtenção da curva de retenção da água no solo**. 2005. 103f. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, nov. 1984.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. London: Academic Press, 1982. 364 p.

KASTANEK, F.J.; NIELSEN, D.R. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.279-283, 2001.

KOOL, J. B.; PARKER, J. C.; GENUTCHEN, M. T. Van. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 91, p. 255-293, 1987.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba – ESALQ, 2000, 497 p.

MARCIANO, C. R. et al. Variabilidade do potencial mátrico e do conteúdo de água no solo em experimento de manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG v 22. p.563-571, n4, 1998.

MALCOM, J. R.; ANDRÉE, D. C. Water release characteristics. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Ed.). **Soil analysis: physical methods**. New York: M. Dekker, 1991. p. 111-160.

MARTIN NETO, L. et al. Avaliação da eficiência do analisador granulométrico com amostras oriundas do controle de qualidade Embrapa (PAQLF). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto-SP, . **Resumo expandido...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1CD-ROM.

MARTINEZ, M. A. et al. Efeito da textura do solo sobre os parâmetros de alguns modelos matemáticos usados para estimar a curva de retenção de água no solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 4, n. 48, p. 1-9, 1995.

MELLO, C. R. et al. Modelo para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.. 9. n. 1. p. 23-29, 2005.

NAIME, J. M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Automated soil particle analyzer based on gamma-ray attenuation. **Comput. Electron. Agr.** n. 31, p. 295-304, 2001.

NAIME, J. M.; SHINYA, V. T.; VAZ, C. M. P. Programa para estimativa indireta da curva de retenção da água no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15. 2004, Santa Maria-RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CDROM.

NAIME, J. de M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Determinações físicas do solo a partir da granulometria: Programa Qualisolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Resumos e palestras...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, E. **Efeito da Crotalaria juncea Linn na eficiência agrônômica, econômica e energética de culturas em sucessão sob plantio direto. 1997. 95f.** Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.et al. Caracterizações físico-hídricas de cinco perfis de solos do nordeste paranaense. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE

CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SBCS, 1996. 1CD-ROM.

PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 63, n. 6, p. 1748-1757, 1999.

PEDROTTI, A. et al. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1-9, 2003.

PERAZA, J.E.S. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul**. 2003. 117f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

PETRY, M.T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia).- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

PRUNTY, L.; CASEY, F.X.M. Soil water retention curve description using a flexible smooth function. **Vadose Zone Journal**, v.1, p.179-185, 2002.

QUAGLIA, A.M.L. et al. **Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho)**. Brasília;CODEVASF, 1989. 154 p. (Relatório de Avaliação Ex-post).

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M.S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina-PE: EMBRAPA/CPATSA, 1993. 280 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Piracicaba: Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 211 – 216, 1988.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A.. et al. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.

RIGHES, A.; LOVATO, T; SOARES, E. Caracterização física, química e microbiológica de planossolo da unidade de mapeamento Vacacai, RS, **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.13, n.1, p.25-45, 1983.



ROSSI, C.; NIMMO, J.R. Modeling of soil water retention from saturation to oven dryness. **Water Resources Research**, v.30, p.701-708, 1994.

SCOTT, D. H. Soil Water principles. In: \_\_\_\_\_. **Soil physics: agricultural and environmental applications**. Ames: Iowa state University Press, 2000.p.165-212.

SKOPP, J.M. Physical properties of primary particles. In: SUMNER, M. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Ratón, Florida, USA.: CRC Press, 2000. p. 3-17.

SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 136f. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1487-1494, 2002.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. **Período de centrifugação adequado para levantamento da curva de retenção da água em solos do bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 40p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8).

SILVA, E.M. da. **Analysis of furrow irrigation uniformity as affected by furrow spacing**. 1990. 449 leaves. Thesis (Ph.D.) - University of Arizona, Tucson, 1990.

TAVARES, L. C. et al. Capacidade de retenção de água e parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980) em quatro solos representativos da região produtora de pêssigo de Pelotas-RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16 E ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2007, Pelotas.

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007.79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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

Van GENUCHTEN, M. T; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. **Analisador granulométrico de solos**. São Carlos, EMBRAPA/CNPDIA- comunicado técnico, nº5. 1996,5p.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A.; MELLO, S. **Análise granulométrica por raios gama**. São Carlos, EMBRAPA/CNPDIA- Boletim de Pesquisa, nº5. 1997,13p.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n. 6, p. 403-410, 1999.

VAZ, C. M. P.; IOSSI, M.; NAIME, J. M.; SILVA, A. M. da. **Retenção de Água no Solo Estimada Através da Medida de Distribuição do Tamanho das Partículas do Solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 57).

VAZ, C. M. P.; IOSSI, M. F.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. **Validação de modelos para estimativa indireta da capacidade de retenção da água nos solos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 61).

VAZ, C. M. P.; IOSSI, M.; NAIME, J. M.; MACEDO, Á.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; COOPER, M. Validation of the Arya and Paris water retention model for Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal.**, 69:577-583, 2005.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006.115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

## CAPÍTULO 2

### PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Irriga

## **PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO**

Autora: Patricia dos Santos Nascimento  
Orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz  
Co-orientador: Dr. Luís Henrique Bassoi

**RESUMO:** Este estudo teve como objetivo o desenvolvimento e teste de uma planilha eletrônica de fácil compreensão, manuseio e interpretação pelo produtor, que utiliza como dados de entrada os atributos físico-hídricas do solo em questão e as leituras tensiométricas locais para a determinação de parâmetros como umidade do solo disponível, lâmina e tempo de irrigação, possibilitando assim que o produtor faça a leitura e imediatamente, no campo, já saiba o quanto de água aplicar ao solo. O experimento foi instalado num pomar de videira pertencente a cultivar Crimson Seedless, localizado no município de Petrolina-PE. Amostras de solo foram coletadas para a determinação da curva de retenção de água no solo nas camadas de solo 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, e instalação de tensiômetros a 0,2, 0,4 e 0,6 m de profundidade. As informações de retenção de água no solo e leituras tensiométricas realizadas na área experimental foram utilizadas como base para a obtenção do potencial matricial da água no solo, umidade do solo, água disponível no solo umidade de reposição; lâmina bruta e tempo de irrigação. A análise do uso da planilha para o manejo de irrigação resultou em um menor tempo de irrigação, em comparação ao manejo realizado com base na evapotranspiração da cultura e, conseqüentemente uma menor lâmina bruta aplicada. A correlação entre as lâminas de irrigação calculada com base nas curvas de retenções obtidas por diferentes métodos revelou uma superestimação do método Arya & Paris em relação aos métodos de Richards e da Centrifuga. Quando necessário, a planilha desenvolvida pode auxiliar o produtor a realizar ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura.

**Palavras-chave:** tensiômetro, curva de retenção, água disponível no solo, lâmina de irrigação.

## **SPREADSHEET TO HELP DECISION-MAKING IN IRRIGATION SCHEDULING**

Author: Patricia dos Santos Nascimento  
Adviser: Prof Dr. Vital Pedro da Silva Paz  
Co-adviser: Dr. Luís Henrique Bassoi

**ABSTRACT:** This work was carried out to develop a spreadsheet of easy comprehension, handling and interpretation by growers, which uses as input the physico-hydric soil attributes and the in situ tensiometer readings for the determination of parameters such as soil moisture available, irrigation depth and time, thus enabling the grower to make reading and immediately, in the field, know how much water to apply into the soil. The experiment was installed in an orchard of grape vines Crimson Seedless, in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. Soil samples at 0.0-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m depth were collected for determination of soil water retention curves, and tensiometers were installed at 0.2, 0.4 and 0.6 m depths. Information like soil water retention and tensiometer readings obtained in the experimental site was used as a basis for obtaining the soil water matric potential, soil water content, water availability, soil water content to be replaced gross irrigation depth and time. The analysis of the use of the irrigation scheduling spreadsheet resulted in a shorter time for irrigation in relation to the irrigation scheduling based on the crop evapotranspiration, and consequently lower applied water. The irrigation depth calculated with the retention curves obtained by Arya & Paris method was higher than the irrigation depth based on retention curves obtained by Richards and centrifuge methods. The spreadsheet can be helpful to the grower to make adjustments in the irrigation scheduling based on crop evapotranspiration when it is necessary.

**Key words:** tensiometer, soil water retention curve, available soil water, irrigation depth

## INTRODUÇÃO

Dentre as atividades humanas a agricultura é a que mais consome os recursos hídricos do planeta, sendo a irrigação a responsável por grande parte desse total, chegando a concorrer em algumas regiões de forma direta com a indústria e as cidades pelo uso da água. Nesse processo a irrigação pode ser equivocadamente, responsabilizada por problemas de escassez em decorrência do grande volume de água que consome (QUEIROZ et al., 2008).

Os benefícios da agricultura irrigada são inegáveis, com acréscimos consideráveis na produtividade das culturas e maior eficiência no uso de outros insumos, como fertilizantes, por exemplo. A utilização da irrigação garante a produção das culturas nos períodos de entressafra em regiões áridas ou de regime pluviométrico inconstante, além de oferecer segurança durante os veranicos. Em uma esfera mais ampla a prática da irrigação torna-se imprescindível em estratégias de desenvolvimento econômico e social, tais como geração de empregos e renda, sustentabilidade econômica e ambiental, combate à fome e desigualdade social.

O manejo da água de irrigação está diretamente relacionado com as necessidades hídricas das culturas, com as características hidráulicas do sistema de irrigação selecionado e com a capacidade de retenção de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz da cultura (SOARES et al., 1998). O conhecimento do consumo de água nos diversos subperíodos ou etapas de desenvolvimento das plantas cultivadas permite a administração de uma irrigação mais racional de acordo com a exigência da cultura, pois tanto o déficit quanto o excesso de água trazem prejuízos aos cultivos agrícolas.

A irrigação realizada em excesso além do desperdício de água e energia, comprometimento da produção e qualidade da lavoura, também pode gerar grande impacto ambiental sobre o solo com a poluição de rios, lagos e lençol freático, devido à lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes para as camadas inferiores do solo, situação que se torna ainda mais agravante em regiões áridas e semi áridas, onde o uso inadequado da irrigação pode resultar também na salinização do solo. Por outro lado, a aplicação de lâminas inferiores às necessidades da cultura pode resultar em estresse hídrico e interferir no

crescimento normal das plantas afetando assim a produção e/ou a qualidade do produto.

Para Costa (2006) muitos irrigantes avaliam o momento de realizar a irrigação de forma visual, sem adoção de qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação. Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido receptivos a qualquer método em particular (ESPINDULA NETO, 2002). De acordo com as considerações de Jensen (1983) e Sousa et al. (2003), entre os principais fatores que levam os produtores a não adotarem um adequado manejo dos recursos hídricos está o baixo custo da água de irrigação em relação ao custo de implantação de um programa de manejo, além do fato da redução na produtividade por atraso ou falta da irrigação e os impactos ambientais provocados pelo mau uso da água serem de difícil reconhecimento e quantificação.

A ineficiência no manejo adotado por grande parte dos produtores rurais é indicado como um dos fatores que contribuem para a escassez dos recursos hídricos. Somente 40 a 60% da água que é aplicada à cultura é efetivamente usada pela mesma (a maior parcela na forma de transpiração), o restante é perdido no sistema, na propriedade e no campo, seja através da evaporação, do escoamento superficial ou da percolação (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2001). A deficiência de água no solo interfere nas relações hídricas, na fisiologia e na morfologia das plantas a ponto de causar estresse hídrico que, conforme a magnitude pode limitar severamente a produção das culturas e até mesmo a sobrevivência da espécie.

O reconhecimento da complexidade envolvida no manejo de água em irrigação tem ocasionado, nos últimos anos, uma tendência à mudança nos métodos utilizados para o manejo de água na irrigação. Segundo Bernardo et al. (2006) a implantação de um programa de manejo de irrigação requer conscientização, com visão integrada, tecnologia de ponta e operacionalidade, afim de que se torne possível a otimização do uso dos insumos, aumento da produtividade e rentabilidade e ampliação da área irrigada nos locais com limitação dos recursos hídricos.

O correto manejo da irrigação fundamenta-se principalmente na tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar; para tanto existem várias

metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega a completos esquemas de integração do sistema solo água-planta-atmosfera (HERNANDEZ, 1994). Porém, muitas dessas técnicas ainda são de difícil acesso aos agricultores o que contribui para que a irrigação realizada pelos mesmos não obtenha o sucesso esperado. Dessa forma, é crescente a necessidade de métodos que permitam a programação da irrigação através de um único método ou pela associação de dois ou mais métodos, permitindo ao agricultor o uso de técnicas simples, mas com precisão suficiente para que ainda no campo seja possível determinar de forma criteriosa o momento e a quantidade de água a ser aplicada.

De acordo com Santos (2004), o aumento da produtividade só ocorre se houver uma integração entre todos os componentes do sistema de produção. Diferentes procedimentos podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do "status" da água em um ou mais componentes do sistema solo planta-atmosfera (JAMES, 1988).

O manejo de irrigação via solo considera a umidade do solo onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito usando tensiômetros. Na instalação de tensiômetros, ou qualquer outro instrumento de medição ou estimativa da umidade do solo, deve-se escolher cuidadosamente o local de implantação, pois esses aparelhos refletem medidas pontuais (PIRES et al., 2001). Essa localização dos sensores de tensão, pontos de emissores e planta é de extrema importância para o adequado manejo da água de irrigação. Em relação à quantidade de água, diversos trabalhos vêm sendo conduzidos para estabelecer técnicas de manejo da irrigação. O dimensionamento hidráulico de projetos de irrigação tem, muitas vezes, como referência, os valores de evapotranspiração médios mensais, que podem variar temporalmente até 50% e, portanto, não representar valores extremos de períodos menores, em especial os diários (DANTAS NETO, 2002).

Segundo Pereira e Allen (1997), a medida direta da evapotranspiração é extremamente difícil e onerosa. Difícil, porque exige instalações e equipamentos especiais e onerosa, porque tais estruturas são de alto custo, sendo justificada a sua utilização apenas em condições experimentais. No entanto, há uma tendência



de mudança desse cenário com a crescente adoção de estações agrometeorológicas automáticas, mais simples de operar, por parte dos produtores agrícolas.

Medidas de tensão da água no solo têm sido consideradas como alternativas adequadas para a avaliação indireta da deficiência hídrica de uma cultura (Hermann et al., 1990) sendo, portanto, passíveis de utilização em esquemas de manejo e irrigação. De acordo com Angelotti Neto; Fernandes (2005) e Bernardo et al. (2006) um dos instrumentos mais utilizados e recomendados para o monitoramento da variação do conteúdo de água no solo é o tensiômetro. A utilização da tensiometria com o objetivo de estimar o estado energético da água no solo, sob condições de campo vem sendo amplamente utilizado por resultar em determinações rápidas, precisas e de baixo custo (MORAES et al., 2006).

Lopes et al. (2004) ressaltam que o método de tensiometria possibilita melhor entendimento das reais condições hídricas do solo na região do sistema radicular da cultura por monitorar as variações diárias do potencial mátrico do solo e, indiretamente, a variação do armazenamento de água na zona radicular da cultura. O tensiômetro tem como vantagem o fato de estar fundamentado em dados locais da área irrigada para indicar o momento da irrigação, enquanto os métodos climáticos, mesmo os de melhor estimação, muitas vezes recorrem a informações climatológicas de estações meteorológicas situadas em locais muitas vezes distantes da área a ser irrigada, acarretando em erros na estimativa da demanda hídrica em escala regional.

Normalmente em sistemas de produção agrícola os produtores optam por um monitoramento apenas da profundidade efetiva da cultura o que em alguns casos pode não refletir a dinâmica hídrica do sistema, causando assim déficit ou excesso hídrico no solo. Já que a tensão avaliada na camada de 0-0,15 m reflete quanto se deve irrigar, enquanto que a tensão na camada de 0,30m sugere o controle da profundidade da lâmina aplicada (SAAD; LIBARDI, 1992). A junção dessas informações facultam numa melhor tomada de decisão pelo irrigante quanto ao manejo de irrigação a ser utilizado.

Tornam-se cada vez mais necessária a criação, difusão e transferência de tecnologias simples e de fácil acesso aos agricultores, de modo que eles possam

realizar diretamente no campo a programação efetiva e racional dos recursos hídricos disponíveis sem prejuízos ambientais e econômicos. Segundo Miranda (2005), o uso de recursos da informática como programas (softwares) permitem ao agricultor realizar o manejo da irrigação de forma tecnicamente correta, com maior simplicidade e rapidez.

Para o caso específico do sistema de produção de uvas no submédio São Francisco, quando o manejo de irrigação é utilizado com base na evapotranspiração da cultura, os técnicos de campo apontam algumas limitações como a falta de conhecimento da umidade do solo antes e após a irrigação, e após a redução da lâmina de irrigação em determinados estádios fenológicos da videira. Tal prática de manejo é adotada pelos produtores de uva no submédio São Francisco para diminuir o vigor vegetativo da videira. Ao retomar o uso de uma maior lâmina de irrigação após o período desejado de menor disponibilidade de água no solo, persiste para o técnico a dúvida se a camada efetiva do sistema radicular apresentou o aumento desejado da umidade do solo. O mesmo prevalece quando ocorre uma precipitação, ou seja, até que profundidade do solo a umidade foi elevada e em quanto, e quando aplicar água novamente. Ao final do ciclo da videira, quando a necessidade de água pelas plantas é menor, a lâmina de irrigação é reduzida ou a irrigação é interrompida; nesse caso, também falta de conhecimento se a redução da umidade do solo foi a desejada.

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de desenvolver e testar uma planilha eletrônica de fácil compreensão, manuseio e interpretação pelos produtores, que utiliza como dados de entrada atributos físico-hídricos do solo em questão e as leituras tensiométricas locais para a determinação do potencial matricial da água no solo, umidade do solo disponível, umidade de reposição, lâmina bruta e tempo de irrigação, possibilitando assim que o produtor faça a leitura e imediatamente, no campo, já saiba o quanto de água aplicar ao solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição do local do experimento

O estudo foi realizado em Petrolina-PE (latitude 09°30'S; longitude 40°40'W e 365m de altitude). Conforme a classificação de Köppen a região do Submédio São Francisco apresenta clima do tipo BSw<sup>h</sup>' (REDDY; AMORIM NETO, 1993). Nessa região, a estação chuvosa compreende, em geral, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. Nos meses de verão ocasionalmente ocorrem grandes taxas de deficiências hídricas, instituindo assim o regime hídrico como o fator de maior limitação do clima para esta região semi-árida. A temperatura do ar média anual é de 26,5°C, com pouca oscilação entre os meses e anos, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

A área experimental estava localizada na Fazenda Sasaki, pertencente ao lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 1999), que se caracteriza por apresentar grande variabilidade na capacidade de armazenamento de água, drenagem e profundidade da camada impermeável (SILVA et al., 2002).

Em geral, os solos pertencentes a essa classe têm textura arenosa, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (QUAGLIA et al., 1989). Para a realização do estudo foi selecionada uma área (área K), com um pomar de videira cultivar Crimson Seedless sobre o porta-enxerto IAC 313, plantada em setembro de 2005, no espaçamento de 5 x 4 m e irrigada por microaspersão, com 2 emissores (difusores) por videira, sendo um em cada lado do tronco, no sentido da fileira de plantas. Cada emissor foi instalado a cerca de 0,5 m do tronco e a 1 m de altura do solo, para evitar danos físicos à mangueira de polietileno quando da realização de práticas agrícolas. A área K tem 3,24 ha, com 40 fileiras de plantas e 41 plantas por fileiras (Figura 1), e é dividida em 4 subáreas de 0,82 ha cada, correspondentes a área irrigada por cada uma das 4 válvulas de derivação do sistema de irrigação dessa área.

Foi selecionada para a realização do experimento a segunda subárea (K2) do pomar (fileiras de plantas 11 a 20), sendo escolhidos 3 pontos dessa subárea para a coleta das amostras de solo, as quais foram realizadas com o auxílio de um trado (amostras deformadas) para a determinação da curva de retenção da água no solo, nas camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade. A coleta das amostras nestas profundidades está relacionada com a profundidade efetiva do sistema radicular da videira em solos de textura predominantemente arenosa em Petrolina - PE, que é de 0,4 a 0,6 m de profundidade (BASSOI et al., 2002). Os solos coletados nos três pontos foram homogeneizados por camada, formando assim uma amostra composta para cada profundidade; em seguida, tais amostras foram subdivididas em três subamostras, onde cada uma foi encaminhada para a determinação da curva de retenção de água no solo por diferentes metodologias - Arya & Paris (AP), câmara de Richards (R) e centrífuga (C).

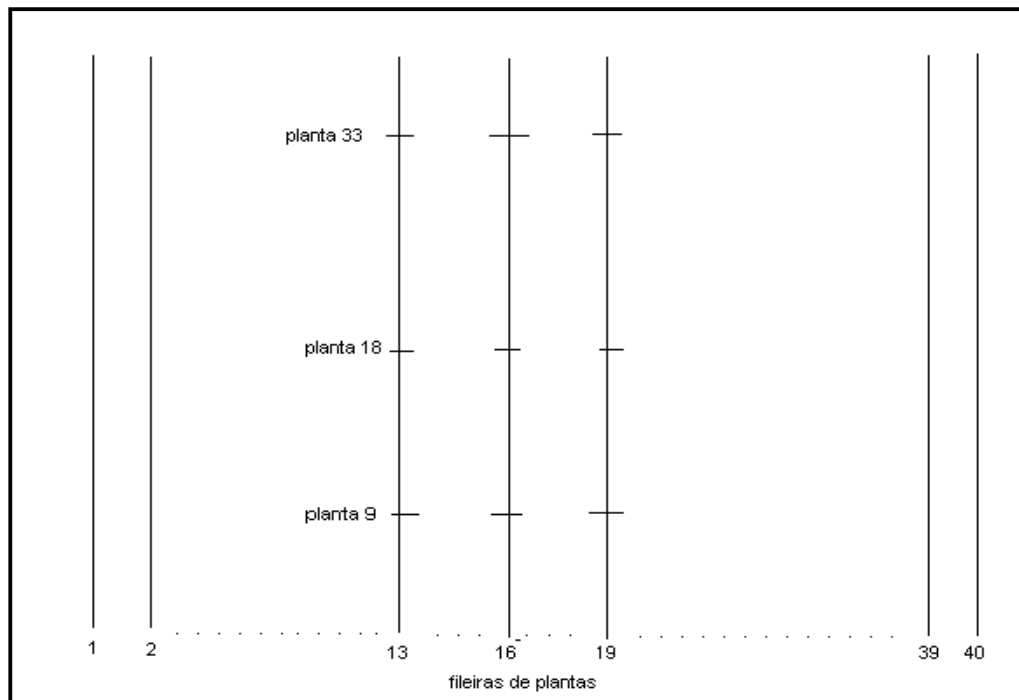


Figura 1- Croqui da área K da fazenda Sasaki, com a disposição das baterias de tensiômetros e tubos de acesso para a sonda de neutrons nas plantas 9, 18 e 33 das fileiras de plantas 13, 16 e 19.

## Métodos para determinação da curva de retenção

### Câmara de Richards (R)

As amostras de solo deformadas coletadas nas camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), campus de Botucatu, para a determinação da relação entre a sucção e a quantidade de água presente no solo, representando a curva de retenção de água no solo pelo método da câmara de Richards. As amostras, após passagem por peneira de 2 mm, foram secas em estufas, colocadas em anéis de borracha e saturadas. Em seguida os anéis de borracha com solo foram submetidos às tensões de 0,006; 0,01; 0,033; 0,06; 0,1; 1,5 MPa. Para cada valor de pressão, ao cessar a drenagem de água da câmara, as amostras foram pesadas para a obtenção da massa úmida em seguida foram secas em estufa a 105°C por 24 horas e pesadas novamente para obtenção da massa seca. Assim, a umidade gravimétrica ou a base de massa foi calculada pela equação seguinte (Eq.1):

$$U = \frac{mu - ms}{ms} \quad (1)$$

em que:

U - umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>);

mu - massa úmida (kg);

ms - massa seca (kg).

Com base nos valores de U obtidos e nos valores de densidade do solo obtidos anteriormente, calculou-se a umidade volumétrica ou a base de volume (Eq. 2):

$$\theta = U \cdot dg \quad (2)$$

em que:

Θ - umidade volumétrica (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>);

U - umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>);

dg - densidade do dolo ( $\text{kg. m}^{-3}$ ).

### **Centrifuga (C)**

A obtenção da curva de retenção de água no solo pelo método da centrifuga foi realizado no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina - PE; as amostras das camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade foram saturadas, por 72 horas, com uma lâmina de água de aproximadamente 0,4 m de altura, para avaliação de seu conteúdo volumétrico na saturação. Com a saturação do solo o processo de centrifugação gera tensão de umidade decrescente ao longo do eixo de rotação da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002). Para este estudo foram aplicadas rotações de 600, 800, 1.400, 2.000, 2.400 e 9.200 rpm, correspondentes às tensões médias de 0,006; 0,01; 0,03; 0,06; 0,1; 1,5 MPa; para tanto foi utilizado um período de centrifugação de 3 horas (SILVA; AZEVEDO, 2002). Após o período de centrifugação foi realizada a pesagem da umidade restante nas amostras em estudo resultando assim nas informações necessárias para a obtenção da curva de retenção para cada profundidade amostrada. Os procedimentos de cálculo para a conversão de rotação em tensão e as características da centrífuga encontram-se descritos em SILVA e AZEVEDO (2001).

### **Arya & Paris (AP)**

No método de Arya & Paris (1981) a curva de retenção é obtida por meio do software Qualisolo (NAIME et al., 2004), que utiliza como fundamento a DTP proveniente do analisador granulométrico (Figura 2) desenvolvido e construído na Embrapa Instrumentação Agropecuária (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001).

A metodologia que subsidia a determinação da distribuição de tamanhos de partículas (DTP) do solo toma por base a atenuação de um feixe de raios gama - Lei de Beer-Lambert - (Eq. 3), com a qual é usada para calcular a concentração (Eq. 3) em diferentes alturas da amostra (NAIME et al., 2001). Assim:

$$C = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{x \left( \mu_p^* - \frac{\mu_w^* \cdot D_w}{D_p} \right)} \quad (3)$$

em que:

C - a concentração em diferentes alturas da amostra;

x - é a espessura interna do recipiente;

$I_0$  - ao número de fótons que cruza o recipiente quando ele está preenchido com água (contagem por segundo, cps);

I - ao número de fótons que cruza o recipiente quando ele está com solução de solo (contagem por segundo, cps);

$\mu_p^*$  e  $\mu_w^*$  - são os coeficientes de atenuação em massa do solo e água ( $m^2 \text{ kg}^{-1}$ ), respectivamente;

$D_w$  e  $D_p$  - são a densidade de partículas do solo e água ( $\text{kg m}^{-3}$ ), respectivamente.



Figura 2. Analisador granulométrico automático (NAIME et al., 2001).

Para a granulometria, esse método é acrescido do princípio da sedimentação de partículas em um meio líquido - lei de Stokes – (Eq. 4) o qual depende da viscosidade e da aceleração da gravidade (VAZ et al., 1997). Assim:

$$t = \left( \frac{18h\eta}{d^2g(D_p - D_w)} \right) \quad (4)$$

em que:

t - é o tempo em que devem ser feita as medidas da atenuação para calcular o diâmetro d da partícula (s);

h - a altura em que devem ser feita as medidas da atenuação para calcular o diâmetro d da partícula (cm);

$\eta$  - é a viscosidade da água (poise);

d - é o diâmetro das partículas correlacionadas a concentração (m);

g - é a aceleração da gravidade ( $\text{cm/s}^2$ );

$D_w$  e  $D_p$  - são a densidade de partículas do solo e água ( $\text{g/cm}^3$ ), respectivamente.

No laboratório as amostras de cada profundidade foram secas à temperatura ambiente, peneiradas em malha de 2 mm (EMBRAPA, 1997). Posteriormente, foi determinado o coeficiente de atenuação em massa (VAZ et al., 1997).

Após 24 horas em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , o solo foi pesado e seu valor inserido como um dos dados de entrada do software para execução das análises granulométricas. A determinação do coeficiente de atenuação em massa foi obtida preenchendo-se um recipiente retangular de acrílico ( $0,05 \times 0,05 \times 0,08$  m) com solo previamente seco e peneirado de cada profundidade. Esse recipiente foi pesado ainda vazio e medido o número de fótons transmitidos através do recipiente vazio ( $I_0$ ) e com solo ( $I$ ) e a espessura ( $x$ , cm) que o feixe percorre no interior da amostra (PEDROTTI et al., 2003). Para isso utilizou-se uma sub-rotina do programa para obtenção da distribuição do tamanho de partículas (VAZ et al., 1997).

As dispersões químicas (Figura 3) e física (Figura 4) das partículas de solo, de acordo com a metodologia descrita por Vaz et al. (1997), consistem, respectivamente, em adicionar 10 ml de NaOH (1N) em cada alíquota de solo e deixado em repouso por no mínimo 12 horas (Figura 2), procedendo-se à



dispersão das partículas de solo em um agitador, modelo 936-2 da Hamilton Beach, em média rotação por 15 minutos (Figura 3).



Figura 3. Dispersão química das partículas de solo (ANGELOTTI NETTO, 2007).



Figura 4. Detalhes da dispersão física das partículas de solo (ANGELOTTI NETTO, 2007).

Após esse processo, a solução contendo partículas de solo, água e NaOH, foi transferida para recipientes retangulares de acrílico (0,05 x 0,05 x 0,2 m), acrescentando-se água destilada até que a solução atingisse a concentração de 100 g/l, ou seja, 0,16 m de altura (VAZ et al., 1999).

Os recipientes contendo essa solução foram colocados no analisador granulométrico para medidas de atenuação da radiação em intervalos de espaço e tempo previamente definidos, em diferentes alturas do recipiente contendo as partículas em sedimentação (OLIVEIRA et al., 1997).

Na Figura (5) é apresentada a interface do programa Qualisolo; no canto superior esquerdo da tela principal são apresentados, em forma de tabela, os dados da análise granulométrica (concentração x diâmetro de partículas) e os 20 pares de pontos ( $h$ ,  $\theta$ ) calculados da curva de retenção pelo método AP. Abaixo,

no quadro de resultados, são apresentados os parâmetros da interpolação sigmoidal da DTP, os parâmetros da equação do modelo de Van Genuchten (1980), S, a condutividade hidráulica na umidade ótima de manejo e as umidades limite inferior, ótima e limite superior de manejo. A DTP é apresentada no gráfico superior indicando os pontos medidos pelo analisador e representando a função sigmoidal. Na curva de retenção são mostrados os 20 pontos calculados pelo método AP e a interpolação na equação do modelo de Van Genuchten (1980), durante os cálculos, o programa ajusta todos os parâmetros dos modelos de interpolação de forma a minimizar o erro médio quadrático em relação aos pontos experimentais, para o caso da análise granulométrica, ou em relação aos pontos do método AP para os parâmetros da equação de Van Genuchten (NAIME et al., 2006).

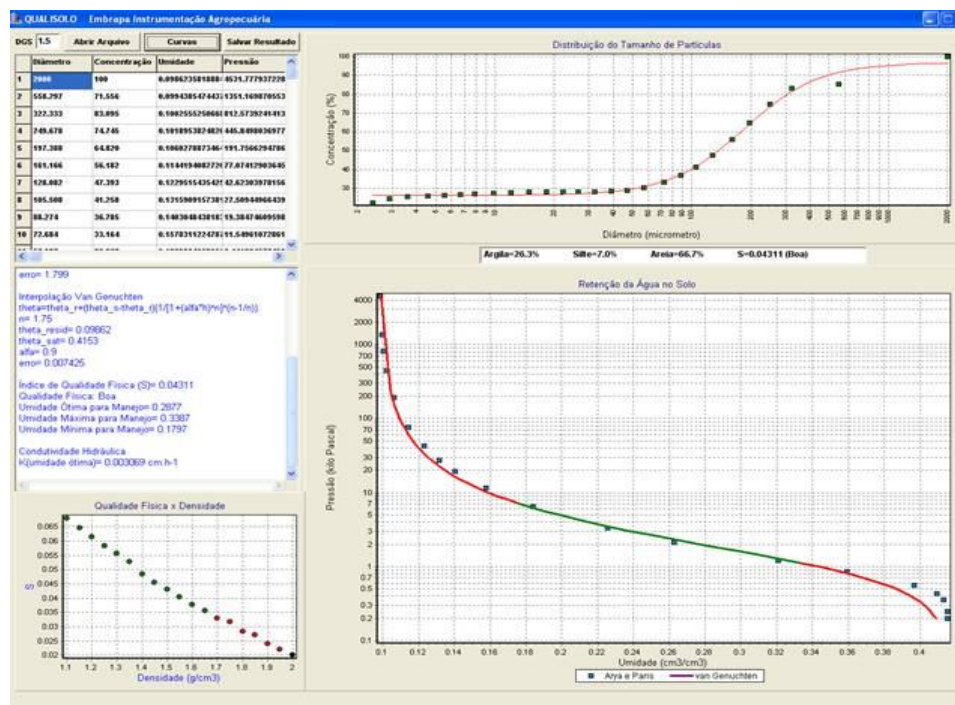


Figura 5. Detalhes da interface do programa qualisolo (NAIME et al., 2004).

O modelo desenvolvido por Van Genutchen (1980), indicado como um dos mais adequados na representação do fenômeno da retenção da umidade no solo (VAN GENUTCHEN; NIELSEN, 1985; KOOL et al., 1987; SILVA, 1990), também foi utilizado para ajustar os dados obtidos a partir dos resultados observados

pelos métodos da câmara de Richards e da centrífuga. Para tanto, se fez uso do software “Soil Water Retention Curve, versão Beta 3.0” – SWRC (DOURADO NETO et al., 2000), para o ajuste ao modelo de Van Genuchten (1980), fixando-se a umidade residual e de saturação ao mesmos valores obtidos a partir da análise laboratorial para os métodos da câmara de Richards e da centrífuga. Para o método Arya & Paris, tais parâmetros já são fornecidos e ajustados ao modelo de Van Genuchten (Eq. 5) pelo aplicativo Qualisolo. Os parâmetros  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ , apesar de não terem um significado físico, atuam conjuntamente na determinação do comportamento de cada curva de retenção, onde qualquer alteração em um desses parâmetros pode ser compensada pela alteração em outro.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \psi_m|^n\right]^m} \quad (5)$$

em que:

$\theta_r$  = Umidade volumétrica residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_s$  = Umidade volumétrica de saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\psi_m$  = Potencial matricial (MPa);

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  = Parâmetros empíricos da equação.

### Coleta de dados de umidade do solo no campo

A área experimental foi composta por 9 pontos de observação distribuídos de forma a cobrir toda a área avaliada. Em cada ponto de observação foi instalada uma bateria com três tensiômetros às profundidades de 0,2; 0,4; e 0,6 m (Figura 6) e um tubo de alumínio de 1,50 m de comprimento (1,35 m abaixo da superfície do solo) com 45 mm de diâmetro interno e 1,5 mm de espessura de parede, para acesso de uma sonda de neutrons (SN), modelo Hydroprobe 503 – CNP Coroporation (Figura 7). As leituras com a SN foram realizadas duas vezes por semana às profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m.

A instalação desses tubos de acesso à SN foi realizada com o auxílio de um trado do tipo holandês.



Figura 6. Tensiômetros utilizados para o monitoramento da tensão de água no solo, nas profundidades de 0,2; 0,4; e 0,6 m.



Figura 7. Sonda de nêutrons utilizada para o monitoramento da umidade do solo nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m.

Para a instalação dos tensiômetros de forma a obter um perfeito contato da cápsula porosa com o solo, utilizou-se um trado tipo rosca com diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro da cápsula porosa. A determinação da tensão de água no solo foi realizada com o auxílio de um tensímetro de punção e uma fita métrica para a determinação da altura da lâmina d'água no interior da parte superior do tensiômetro, que fica acima do nível do solo. Tal procedimento foi

realizado duas vezes por semana, nas respectivas profundidades de instalação do equipamento. Os tensiômetros foram posicionados na área umedecida pelo difusor, em um dos lados da videira, a 0,20 m do tronco, ficando 0,10 m distanciados entre si em cada bateria.

As leituras dos tensiômetros e da SN foram realizadas no mesmo dia e no mesmo horário, ao longo do ciclo da videira. A tensão de água no solo foi determinada pela Equação 6:

$$\Psi_m = L_t - H_a - H_s - H_c \quad (6)$$

em que:

$\Psi_m$  - tensão de água no solo, MPa;

$L_t$  - leitura no tensiômetro transformada em MPa, sinal positivo;

$H_a$  - altura da água no tubo de acrílico, na parte superior do tensiômetro, acima do solo, em cm;

$H_s$  - altura do tensiômetro acima do solo, compreendida entre o tubo de acrílico e o nível do solo (altura fixa), em cm;

$H_c$  - altura correspondente à profundidade da cápsula porosa em relação ao nível do solo, tomando-se como referência o meio da cápsula porosa, em cm.

A calibração da SN foi realizada previamente em outra área com mesmo solo, ou seja, Neossolo Quartzarênico. Os dados para a calibração foram coletados em duas parcelas de 3,0 x 3,0 m, próximas uma da outra, contendo cada uma três tubos de acesso para a leitura. Em cada uma das parcelas, as leituras de SN foram realizadas a 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m de profundidade nos 3 tubos de acesso, e imediatamente após, foi realizada a abertura de trincheira para a coleta de amostras indeformadas de solo, com o uso de anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, nas mesmas profundidades em que foram realizadas as leituras de SN. As amostras de solo foram armazenadas em latas de alumínio, lacradas e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semi-Árido para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico e da densidade do solo. Uma das parcelas encontrava-se com baixa umidade do solo (parcela seca), enquanto que

a outra se encontrava com maior umidade do solo (parcela úmida), obtido com o molhamento prévio do perfil do solo e monitoramento da profundidade de molhamento com a própria SN.

Para a determinação da umidade do solo pela SN utilizaram-se os valores de leitura relativa (LR) que corresponde as leituras obtidas no solo, dividido pela leitura padrão (shilde). Assim, a umidade volumétrica foi determinada pela seguinte equação de regressão linear (Eq. 7):

$$\theta = 0,1089LR - 0,0224 \quad r^2 = 0,9245 \quad (7)$$

em que:

$\theta$  - umidade gravimétrica ( $m^3 m^{-3}$ );

LR - contagem relativa.

### **Descrição da planilha eletrônica**

A planilha eletrônica foi desenvolvida no software Microsoft Excel sendo constituída por oito partes: inserção dos parâmetros da equação de Van Genuchten para representação gráfica da curva de retenção de água pelo solo em questão; inserção das leituras de tensímetro; cálculos do potencial matricial; da umidade do solo com base na equação da curva de retenção de água; da água disponível no solo; da umidade de reposição; da lâmina bruta de irrigação; e do tempo de irrigação.

A planilha desenvolvida permite um número variado de baterias, onde cada bateria corresponderá a um conjunto de tensiômetros distribuídos de acordo com a profundidade de interesse do produtor; a tomada de decisão, para melhor orientação ao manejo da irrigação, poderá ser feita com base em todas as baterias ou em grupos de baterias, caso haja o interesse do produtor em verificar a necessidade de irrigação em diferentes partes da área. Essa flexibilidade foi feita atendendo a uma demanda do produtor da área em questão, que vem observando ao longo dos anos uma diferença em termos de drenagem em suas áreas de cultivo da videira. A planilha poderá ser reproduzida para cada área em



que será efetuada a irrigação, bastando para isso à inserção dos dados referentes à cultura, solo e sistema de irrigação específicos de cada área. A planilha poderá ter leituras de tensímetro obtidas durante o ciclo da cultura, podendo ser inclusive estendido para o período entre os ciclos da videira, caso seja de interesse ou necessidade do produtor irrigante.

A Fazenda Sasaki conta com uma estação agrometeorológica automática Vantage Pro2™ (Davis Instruments Corp.) instalada na suas dependências, a qual é utilizada para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm) e posterior cálculo da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>, mm), utilizada para o manejo da irrigação.

### **Descrição dos cálculos realizados pela planilha**

Na planilha de dados o usuário deve preencher os campos referentes à data de leitura e valores das leituras do tensímetro segundo o exemplo (Figura 8). Na planilha já estão inseridos os dados da cultura (espaçamento), sistema de irrigação (vazão do emissor, número de emissores por planta, fator de redução baseado na área de molhamento, eficiência) e as fórmulas para determinação do potencial matricial, umidade do solo, água disponível, umidade de reposição, lâmina bruta de irrigação e tempo de irrigação. Ao inserir as leituras de tensímetro, a planilha já fornece automaticamente todas as informações citadas anteriormente.

Durante o preenchimento dos dados de tensiometria é indispensável uma atenção especial por parte do usuário da planilha quanto a unidade do tensímetro com o qual estão sendo coletados os dados em campo. Caso esse aparelho não forneça os resultados em MPa, faz-se necessário inserir no cálculo do potencial matricial um valor de conversão para que seja efetuada a transformação do valor obtido para MPa.

O cálculo do potencial matricial é realizado a partir da leitura do tensímetro, subtraindo-se as alturas de água no tensiômetro, a altura do tensiômetro em relação ao nível do solo e a profundidade em que a cápsula porosa está inserida no solo, conforme a Eq. 6.

| Dados de umidade obtidos pela curva de retenção                         |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
|---|------------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|---------|----------|----------|
| <b>Dados obtidos da análise de regressão do modelo de van Genuchten</b> |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| prof (cm)   | $\theta_s$ | $\theta_r$ | $\alpha$ | $n$      | $m$       | sal-res  |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| 20  | 0.167      | 0.050      | 0.012    | 1.847    | 0.459     | 0.117    |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| 40  | 0.158      | 0.051      | 0.012    | 1.997    | 0.459     | 0.107    |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| 60  | 0.160      | 0.041      | 0.012    | 2.180    | 0.541     | 0.119    |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| <b>Potencial matricial (KPa)</b>  |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| prof (cm)   | 60         | 100        | 300      | 600      | 1000      | 15000    | 100      | 90        | 80       | 70       | 60        | 50       | 40        |         |          |          |
| 20  | 0.145      | 0.127      | 0.097    | 0.071    | 0.064     | 0.051    | 0.145    | 0.138     | 0.126    | 0.117    | 0.108     | 0.098    | 0.089     |         |          |          |
| 40  | 0.138      | 0.120      | 0.080    | 0.066    | 0.060     | 0.052    | 0.138    | 0.130     | 0.121    | 0.112    | 0.104     | 0.095    | 0.086     |         |          |          |
| 60  | 0.137      | 0.113      | 0.066    | 0.052    | 0.047     | 0.041    | 0.137    | 0.127     | 0.117    | 0.108    | 0.098     | 0.089    | 0.079     |         |          |          |
| <b>*DAP - Dias após a poda</b>  |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| <b>*CAD - Total de água disponível</b>                                  |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
| <b>Leitura do tensiômetro (KPa)</b>                                     |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
|   | DAP        | bateria 1  |          |          | bateria 2 |          |          | bateria 3 |          |          | bateria 4 |          | bateria 5 |         |          |          |
| dia   | 4-Jul-08   | 0-20 cm    | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm  | 0-20 cm | 20-40 cm | 40-60 cm |
| 4-Jul-08  | 0          | 103.4      | 131.0    | 165.5    | 82.7      | 110.3    | 158.6    | 89.6      | 110.3    | 186.2    | ...       | ...      | ...       | ...     | ...      | ...      |
| 9-Jul-08  | 5          | 124.1      | 110.3    | 165.5    | 124.1     | 165.5    | ...      | 144.8     | 131.0    | 186.2    | ...       | ...      | ...       | ...     | ...      | ...      |
| <b>Potencial matricial (KPa)</b>  |            |            |          |          |           |          |          |           |          |          |           |          |           |         |          |          |
|   | DAP        | bateria 1  |          |          | bateria 2 |          |          | bateria 3 |          |          | bateria 4 |          | bateria 5 |         |          |          |
| dia   | 4-Jul-08   | 0-20 cm    | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm  | 0-20 cm | 20-40 cm | 40-60 cm |
| 4-Jul-08  | 0          | 69.43      | 82.51    | 91.48    | 46.74     | 61.82    | 84.59    | 55.64     | 61.82    | 112.17   | ...       | ...      | ...       | ...     | ...      | ...      |
| 9-Jul-08  | 5          | 90.11      | 61.82    | 91.48    | 90.11     | 91.48    | ...      | 110.80    | 82.51    | 112.17   | ...       | ...      | ...       | ...     | ...      | ...      |

Figura 8. Planilha de auxílio à tomada de decisão em sistemas irrigados: inserção dos dados oriundos da curva de retenção de água no solo, leituras tensiométricas realizadas na área e cálculo do potencial matricial (MPa).

O passo seguinte consiste no cálculo da umidade do solo (Eq. 8) por meio da equação representativa da curva de retenção de água pelo solo, segundo o modelo de Van Genuchten (1980), com base no potencial matricial estimado (Figura 9). Assim:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \psi_m|^n\right]^m} \quad (8)$$

em que:

$\theta_r$  . Umidade volumétrica residual ( $m^3 m^{-3}$ );

$\theta_s$  . Umidade volumétrica de saturação ( $m^3 m^{-3}$ );

$\psi_m$  . Potencial matricial (MPa);

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  - Parâmetros empíricos da equação.



A seqüência da planilha dá ao produtor a possibilidade de determinação da percentagem de água disponível no solo, a qual é alcançada a partir da seguinte expressão:

$$AD = \left[ \frac{(\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{pmp}})}{(\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}})} \right] \times 100 \quad (9)$$

em que:

$\theta_{\text{atual}}$  - Umidade atual do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_{\text{pmp}}$  - Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_{\text{cc}}$  - Umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

Os valores da umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente são provenientes da curva de retenção determinada para o solo em estudo, e que são inseridos previamente na planilha.

Posteriormente, procede-se a determinação da umidade de reposição. Nessa etapa, o usuário determina a porcentagem de água disponível que deve ser mantida na camada de solo de interesse, em função do estágio fenológico da cultura. Ao definir a porcentagem, a planilha calcula a umidade de solo correspondente à porcentagem de AD escolhida ( $\theta_{\%AD}$ ) e o quanto de água deve ser reposta pelo sistema de irrigação. Portanto:

$$\theta_{\text{rep}} = (\theta_{\%AD} - \theta_{\text{atual}}) \quad (10)$$

em que:

$\theta_{\text{rep}}$  - umidade volumétrica de reposição ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta_{\%AD}$  - umidade volumétrica correspondente à porcentagem de água disponível definida pelo produtor ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

Caso a  $\theta_{\text{atual}}$  seja maior que a  $\theta_{\%AD}$ , o valor de  $\theta_{\text{rep}}$  será negativo, indicando que não há necessidade de irrigação.

Ao inserir os valores de umidade determinados pela curva de retenção de água no solo a planilha já determina a umidade do solo correspondente às diversas percentagens de água disponível (100, 90, 80, 60, 70, etc.):

$$\theta_{\%AD} = \theta_{cc} - \left[ \frac{(\theta_{cc} - \theta_{pmp})(100 - Pe)}{100} \right] \quad (11)$$

em que:

$\theta_{\%AD}$  - umidade volumétrica correspondente à percentagem de água disponível definida pelo produtor ( $m^3 m^{-3};\%$ );

$\theta_{cc}$  - Umidade volumétrica na capacidade de campo ( $m^3 m^{-3}$ );

$\theta_{pmp}$  - Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $m^3 m^{-3}$ );

Pe - Percentual de água disponível estipulado pelo produtor.

|                                       |      | umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) |          |          |           |          |          |           |          |          |           | Média Umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) |          |           |          |          |   |          |          |
|---------------------------------------|------|----------------------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|--|----------|-----------|----------|----------|---|----------|----------|
| DAP                                   |      | bateria 1                        |          |          | bateria 2 |          |          | bateria 3 |          |          | bateria 4 |  |          | bateria 5 |          |          | bateria 1, 2 e 3                            |          |          |
| dia                                   | % AD | 0-20 cm                          | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm                               | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 20 cm                                       | 40 cm    | 60 cm    |
| 4-Jul-88                              | 0    | 0,361                            | 0,529    | 0,788    | 0,801     | 0,537    | 0,521    | 0,947     | 0,517    | 0,807    | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 0,145                                       | 0,104    | 0,195    |
| 9-Jul-88                              | 5    | 0,121                            | 0,137    | 0,188    | 0,128     | 0,137    | 0,188    | 0,123     | 0,128    | 0,167    | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 0,129                                       | 0,125    | 0,194    |
| água disponível [%]                   |      |                                  |          |          |           |          |          |           |          |          |           |  |          |           |          |          |   |          |          |
| DAP                                   |      | bateria 1                        |          |          | bateria 2 |          |          | bateria 3 |          |          | bateria 4 |  |          | bateria 5 |          |          | Média água disponível [%]                   |          |          |
| dia                                   | % AD | 0-20 cm                          | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm                               | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 20 cm                                       | 40 cm    | 60 cm    |
| 4-Jul-88                              | 0    | 95,2                             | 87,7     | 80,1     | 100,0     | 93,0     | 84,2     | 100,0     | 93,0     | 83,2     | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 98,4  | 95,2     | 77,8     |
| 9-Jul-88                              | 5    | 85,2                             | 93,0     | 80,1     | 95,3      | 80,1     | 76,7     | 87,7      | 83,2     | ---      | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 82,4  | 81,4     | 76,5     |
| umidade de reposição ( $m^3 m^{-3}$ ) |      |                                  |          |          |           |          |          |           |          |          |           |  |          |           |          |          |   |          |          |
| DAP                                   |      | bateria 1                        |          |          | bateria 2 |          |          | bateria 3 |          |          | bateria 4 |  |          | bateria 5 |          |          | Média Umidade de reposição ( $m^3 m^{-3}$ ) |          |          |
| dia                                   | % AD | 0-20 cm                          | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm                               | 40-60 cm | 0-20 cm   | 20-40 cm | 40-60 cm | 0-20 cm                                     | 20-40 cm | 40-60 cm |
| 4-Jul-88                              | 0    | 0,005                            | 0,002    | 0,009    | 0,005     | 0,005    | 0,006    | 0,000     | 0,005    | 0,020    | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 0,008                                       | 0,006    | 0,012    |
| 9-Jul-88                              | 5    | 0,004                            | 0,006    | 0,009    | 0,004     | 0,005    | 0,009    | 0,002     | 0,002    | 0,020    | ---       | ---                                    | ---      | ---       | ---      | ---      | 0,007                                       | 0,008    | 0,013    |

Figura 9. Planilha de auxílio á tomada de decisão em sistemas irrigados: determinação da umidade do solo, água disponível e umidade de reposição.

Essas percentagens podem ser ajustadas conforme a necessidade da cultura e do sistema de irrigação. Pode-se dizer que a etapa anteriormente descrita integra o conhecimento da necessidade de água de uma cultura, de acordo com o seu estágio fenológico, e a experiência do produtor em relação ao comportamento da cultura (variedade de enxerto, variedade de porta-enxerto),

clima (época do ano em que se cultiva) e solo (textura, capacidade de retenção de água). O valor de umidade de reposição multiplicada pela espessura da camada de solo, na qual está sendo realizado o monitoramento estima a lâmina líquida de irrigação para cada camada:

$$LL_i = \theta_{rep} \times Z_i \quad (12)$$

em que:

$LL_i$  - lâmina líquida a ser repostada em cada camada  $i$ , em mm;

$Z_i$  - espessura da camada  $i$ , em mm.

A correção da lâmina líquida é obtida por meio da divisão da mesma pela eficiência do sistema de irrigação gerando assim a lâmina bruta de irrigação por camada de solo considerada e lâmina bruta total (para todas as camadas), que corresponde à lâmina total que deverá ser aplicada pelo sistema de irrigação (Figura 10):

$$LB_i = \frac{LL_i}{E_i} \quad (13)$$

$$LB_t = \sum LB_t \quad (14)$$

Por fim tem-se a obtenção do tempo de irrigação da cultura que é calculado a partir da seguinte equação:

$$T_i = \frac{LB \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot P}{n \cdot q} \quad (15)$$

em que:

$T_i$  - tempo de irrigação (h);

$E_1$  - espaçamento entre plantas (m);



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A planilha de auxílio à tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação foi avaliada em dois ciclos subseqüentes da videira, sendo um no 1<sup>o</sup> e outro no 2<sup>o</sup> semestre de 2008. O 1<sup>o</sup> ciclo teve início em 14 de janeiro, quando aconteceu a poda de produção da cultura, e final em 14 de maio com a colheita dos frutos, totalizando 121 dias. O ciclo seguinte teve duração de 126 dias, iniciando em 4 de julho (poda de produção), com término em 14 de novembro. O 1<sup>o</sup> ciclo objetivou o ajuste da metodologia em campo e aperfeiçoamento da planilha utilizada para o manejo da irrigação, enquanto que o 2<sup>o</sup> ciclo caracterizou-se pela utilização efetiva da planilha de auxílio á tomada de decisão em sistemas irrigados para o manejo da irrigação.

Os dados de precipitação na região que compreende a área experimental da fazenda revelaram que o 1<sup>o</sup> ciclo apresentou precipitações pluviométricas superiores ao 2<sup>o</sup> ciclo, com os maiores valores no período de 61 e 64 dias após a poda (dap) com valores de 69,2 mm e 70,4 mm, enquanto que no 2<sup>o</sup> ciclo o maior valor precipitado foi de 0,6 mm respectivamente (Figuras 11 A e B)

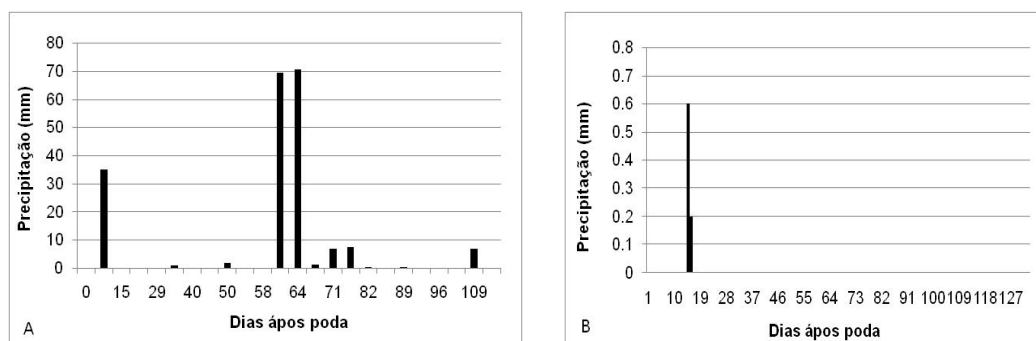


Figura 11. Precipitação verificada na área experimental durante o 1<sup>o</sup> ciclo (A) e o 2<sup>o</sup> ciclo da cultura (B).

Para uma melhor apresentação dos dados coletados em campo das 9 baterias estudadas foram realizadas médias das três baterias que estavam dispostas na mesma linha horizontal, formando assim três subgrupos (Bat 1, 2 e 3; 4, 5 e 6; 7, 8 e 9).

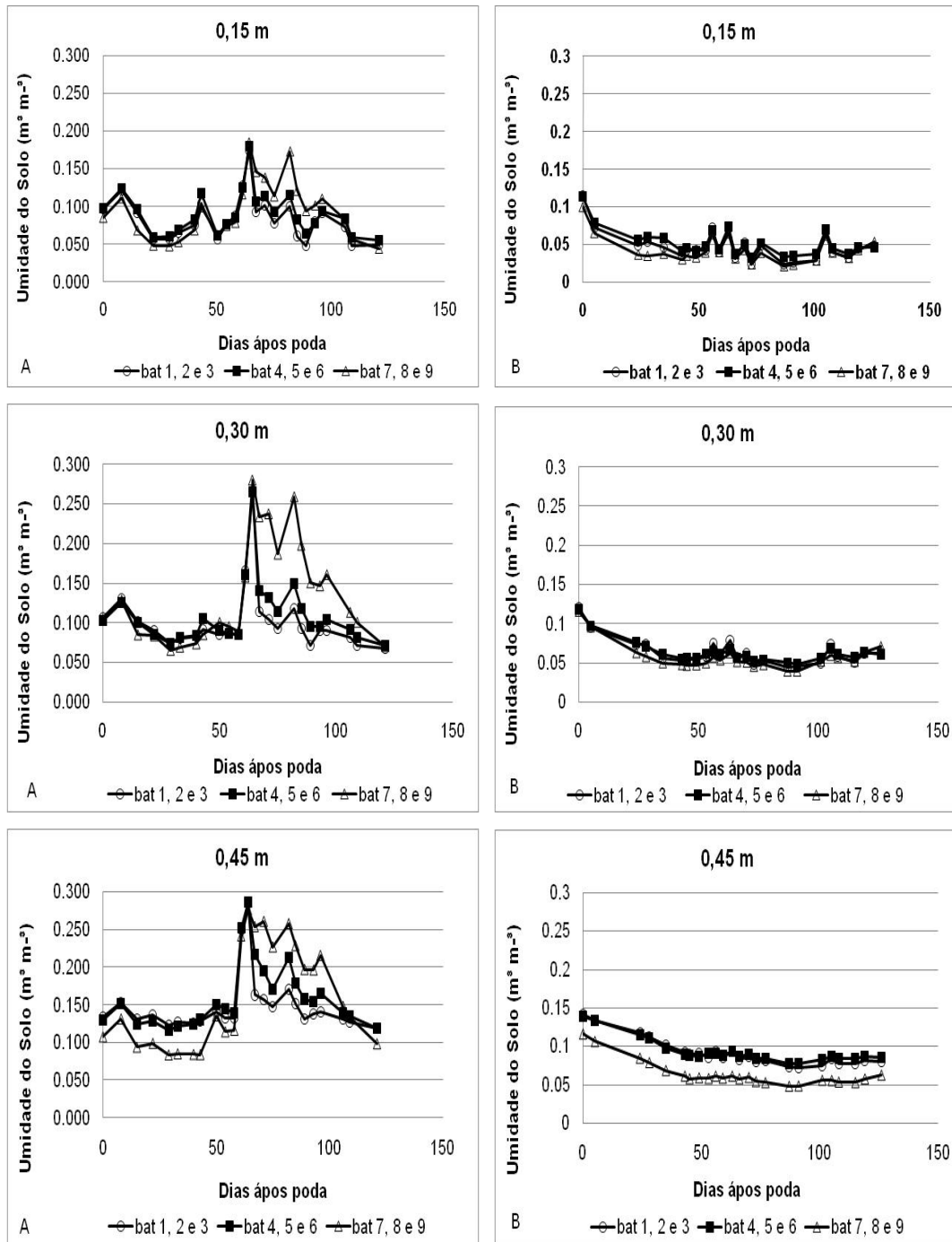
A Figura 12 apresenta os valores de umidades do solo determinados pela técnica de moderação de neutrons. Os dados coletados mostram que a amplitude de variação de umidade diferiu entre os ciclos, devido às diferentes necessidades de irrigação do 1º (janeiro a maio) para o 2º ciclo (julho a novembro) e, principalmente, devido às precipitações pluviais em cada período (total de 463 mm e de 1 mm, respectivamente nos 1º e 2º ciclos).

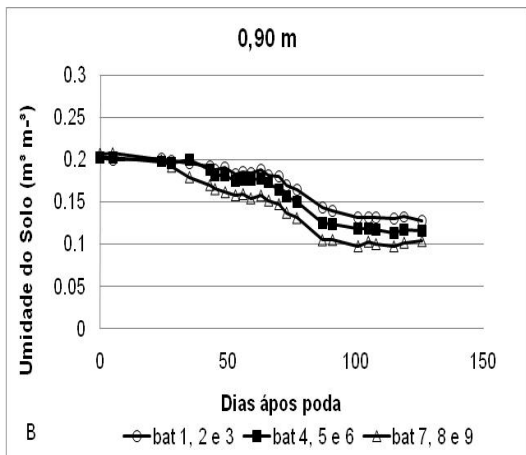
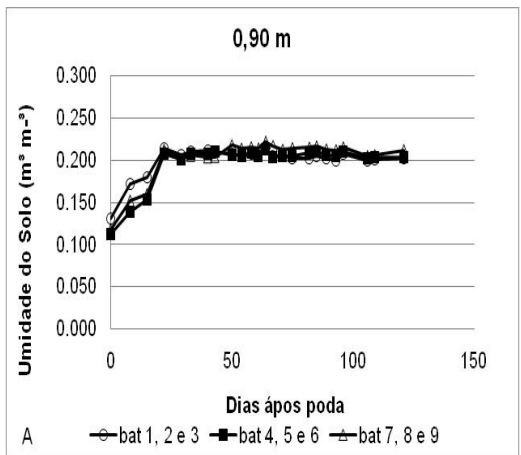
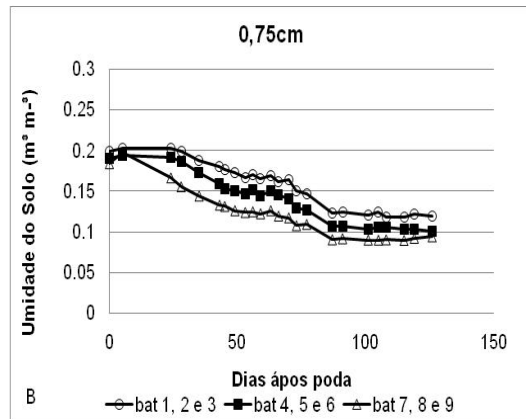
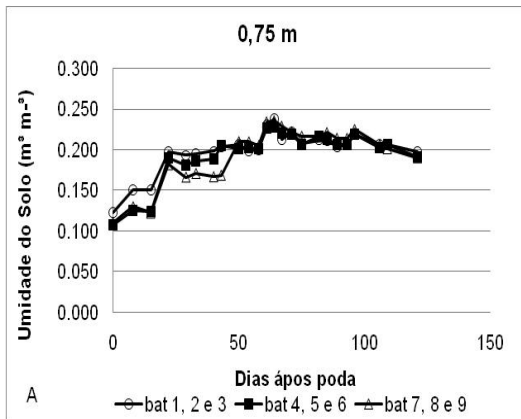
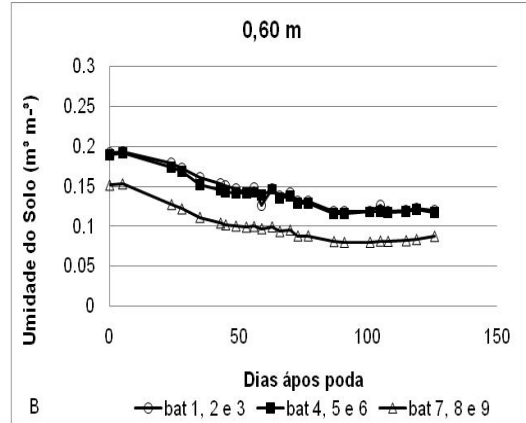
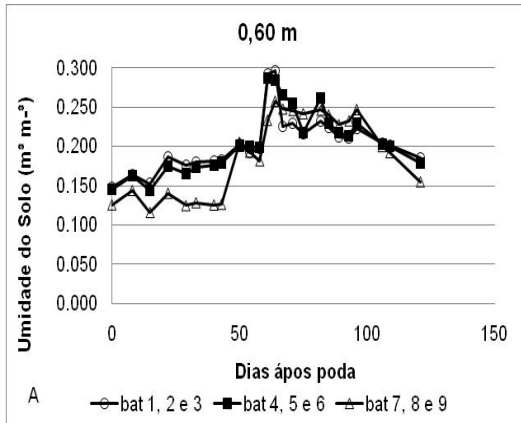
Com base na umidade verificada com o auxílio da SN em diferentes profundidades nos dois ciclos de produção da videira Crimson Seedless foi possível verificar que o 1º ciclo apresentou valores de umidade do solo superiores aos observados pelo 2º ciclo até a profundidade de 0,75 m. Tal fato pode ser explicado pelas precipitações ocorridas durante o 1º ciclo (Figuras 10 A). Já o 2º ciclo caracterizou-se por uma constância nos valores de umidade observados ao longo do mesmo, já que praticamente todo o aporte hídrico desse ciclo foi proveniente da irrigação. No entanto observa-se que até 0,45 m as variações de umidade foram menores, devido ao contínuo fornecimento de água, enquanto que a partir de 0,60 m ocorre uma lenta redução da umidade do solo ao longo do tempo. As profundidades de 0,45 e 0,60 m corresponde a uma extensão do comportamento verificado nas camadas superiores (0,15 e 0,30 m), porém, com valores de umidade mais elevados em ambos os ciclos, demonstrando a importância dessas camadas nos processos de troca com a atmosfera e consequente contribuição para o processo evapotranspirativo.

As baterias intituladas como bat 7, 8 e 9, tiveram como peculiaridade o fato de estarem inseridas numa faixa do terreno onde a drenagem foi visivelmente mais lenta, conforme informado antecipadamente pelo produtor com base em suas observações ao longo dos anos de cultivo, explicando assim os maiores valores de umidade observada por essas baterias quando o aporte hídrico foi maior, porém tal comportamento não se manteve em camadas inferiores a 0,75 m. A partir dessa camada a umidade manteve-se constante em todas as baterias estudadas, mesmo em períodos em de alta disponibilidade hídrica durante o 1º ciclo.

A presença de valores de umidade com variações mínimas a partir de 0,90 m pode ser explicada pela presença de camadas adensadas no Neossolo Quartazênico, constatado pela presença de mosqueados quando da abertura de

trincheiras nessa área. O adensamento pode ocorrer em camadas subsuperficiais em solos com presença de fração areia (Embrapa, 2006), decorrentes de processos pedogenéticos (SILVA, 2000).







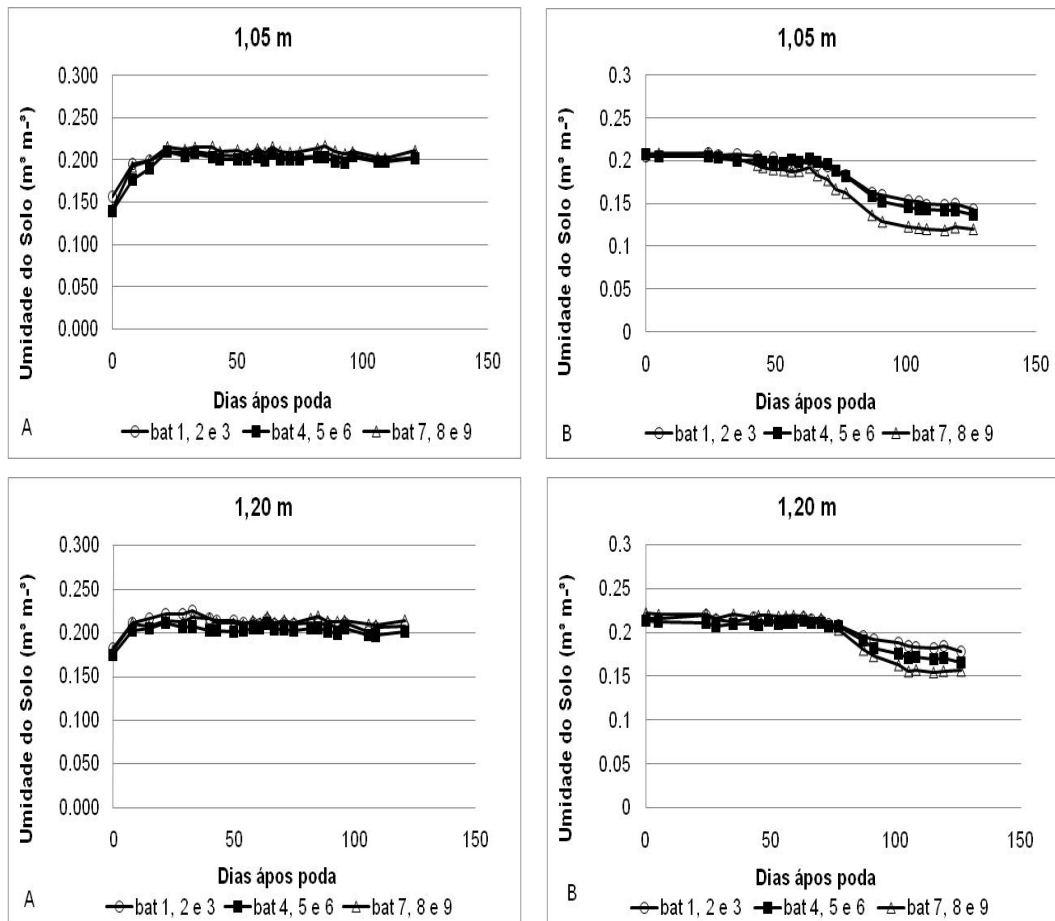


Figura 12. Média das umidades do solo obtidas pelas baterias 1, 2, 3; 4, 5, 6; 7, 8 e 9, medidas com SN em diferentes profundidades nos dias após a poda, para o ciclo 1(A) e ciclo 2(B).

De acordo com a análise das Figuras 13 e 14 que apresentam o gradiente do potencial total da água no solo para diferentes profundidades e dias após a poda, revelou que o fluxo no perfil de 0,20-0,60 m foi predominantemente ascendente com picos negativos (Figura 13).

Nas camadas de 0,20-0,40 m (Figura 14), observou-se um predomínio de valores negativos, caracterizando um fluxo ascendente dessa camada, tal comportamento pode ser explicado pelo grande volume de raízes apresentado por essa camada, que segundo estudos de Bassoi et al., (2002), representam o intervalo de maior interesse pelos produtores de uva. A constância nos valores negativos verificados por essa camada também inferi uma maior contribuição da mesma ao processo evapotranspirativo (FERREIRA, 2004).

Já nas profundidades de 0,4-0,60 m, o predomínio do gradiente hidráulico foi positivo ao longo do ciclo da cultura.

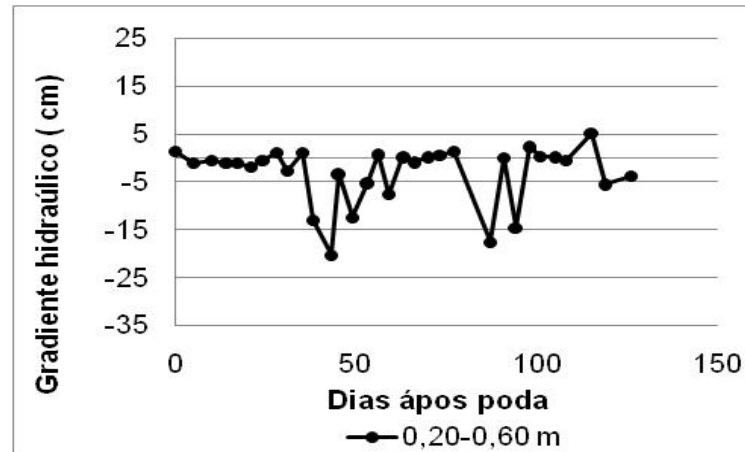


Figura 13. Gradiente potencial total da água no solo para a profundidade de 0,20-0,60m em função dos dias após a poda.

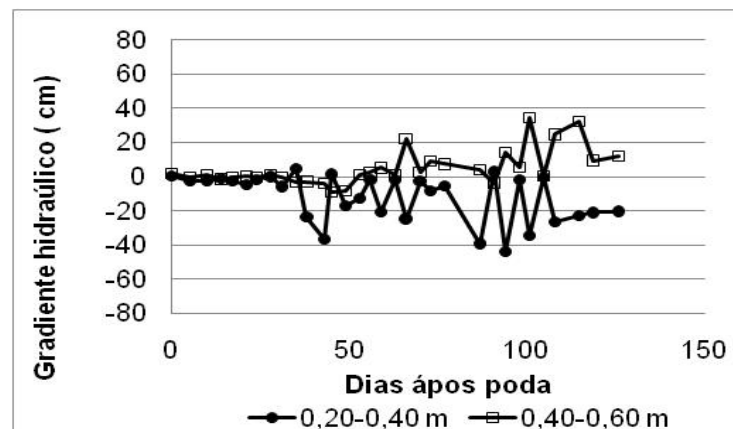


Figura 14. Gradiente potencial total da água no solo para as profundidades de 0,2-0,40m e 0,40-0,60 m em função dos dias após a poda.

A Figura 14 mostra a correlação entre as lâminas de água estimadas pelas informações de umidade obtidas pelas curvas de retenção determinadas pelos diferentes métodos. Verificou-se superestimativa da lâmina de irrigação obtida com base no método de AP em comparação as lâminas calculadas pelos métodos de Richards (R) e centrífuga (C). Já a lâmina de irrigação obtida com base na metodologia descrita por Richards gerou as menores lâminas de irrigação dentre os tratamentos tensiométricos.

As correlações entre as lâminas de irrigação determinados pela metodologia de AP X R e AP X C respectivamente, expressadas na relação 1:1 (Figura 15 a e b), migraram cada vez mais para posições abaixo e distanciadas da reta, indicando assim uma superestimação do método AP quando comparado ao de R e da C, verificando-se também uma pequena dispersão entre os valores observados pelo método AP em relação a R e C.

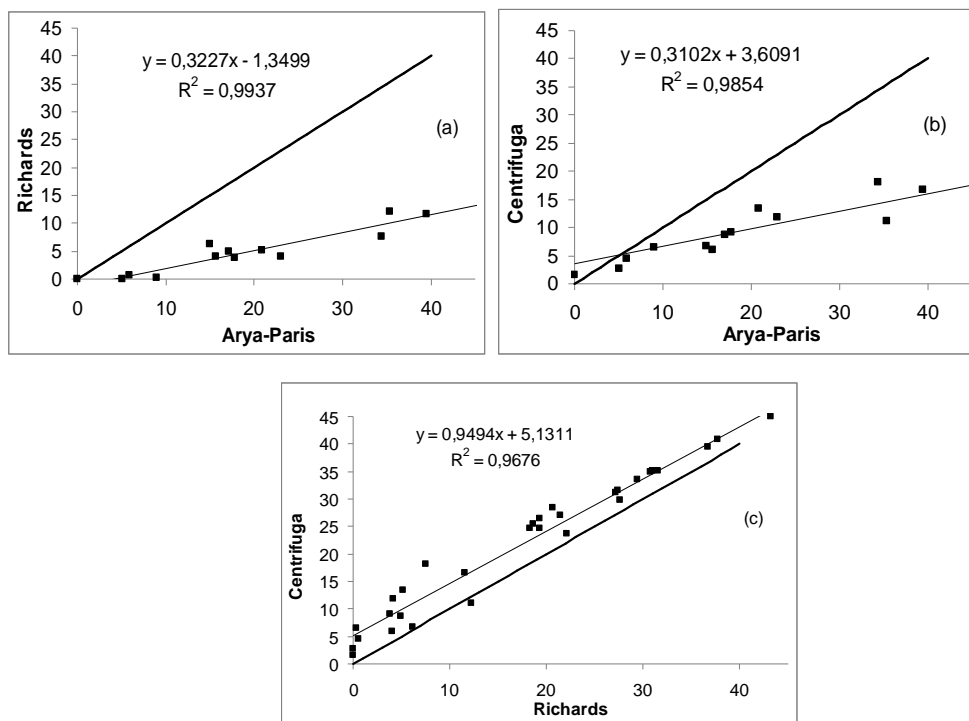


Figura 15- Correlação entre as lâminas de irrigação (mm), calculados para os métodos R X AP (a); C X AP (b) e R X C (c) na profundidade de 0,0-0,6m.

As lâminas de irrigação calculados com base nos métodos de R ficaram próximas dos valores verificados pelo método da C (Figura 15 c), fato este que pode ser observado através da pequena dispersão dos pontos em torno da reta 1:1, a qual indica o que seria um ajuste perfeito entre os métodos, onde quanto mais próxima da reta maior é a precisão da estimativa (WÖSTEN et al., 1990; ZHUANG et al., 2001). No entanto foi possível observar uma leve superestimação da lâmina de irrigação verificada pelo método da centrifuga sobre o método de Richards.

O local do experimento (área K da fazenda Sasaki) é dividido em 4 subáreas de igual tamanho (K1, K2, K3 e K4). Para que fosse possível uma comparação em termos de quantidade de água aplicada, no ciclo de produção do 2º semestre de 2008, o produtor manejou a irrigação nas subáreas K1 e K2 com base nos atributos físico-hídricos do solo - planilha (medidos na subárea K2), enquanto que nas subáreas K3 e K4 o manejo foi realizado com base na evapotranspiração da cultura, estimada pela evapotranspiração de referência obtida pela estação agrometeorológica automática da fazenda, e pelo uso de coeficientes de cultura para a videira.

Com base na Figura 16 o tempo total de irrigação quando se baseou em parâmetros meteorológicos foi superior (157 h) ao tempo de irrigação calculado com base na tensiometria (151 h), conduzindo o produtor a uma economia no funcionamento do sistema de irrigação de 6 horas em cada subárea (0,8 ha). Tais resultados corroboram com os observados por Lopes et al. (2004), ao comparar o manejo da irrigação por tensiometria com o balanço climatológico onde foi verificado que as lâminas médias aplicadas foram significativamente diferentes entre os tratamentos, sendo que a tensiometria recebeu menor quantidade total de água por irrigação com uma economia de 15% em relação à lâmina total média de irrigação aplicada ao utilizar técnicas climatológicas.

Gondim et al. (2000), ao analisarem diferentes manejos de água para estimativa das lâminas de irrigação, observaram que o uso de tensiometria resultou em menores valores de quantidade de água a ser aplicada que os métodos baseados em informações climatológicas, proporcionando, portanto, uma economia da água aplicada além de maior precisão quanto ao momento de irrigação já que métodos climatológicos em algumas situações recorrem a dados de áreas próximas a área irrigada enquanto que o tensiômetro baseia-se na tensão da água local, refletindo assim uma realidade mais próxima àquela de interesse pelo produtor.

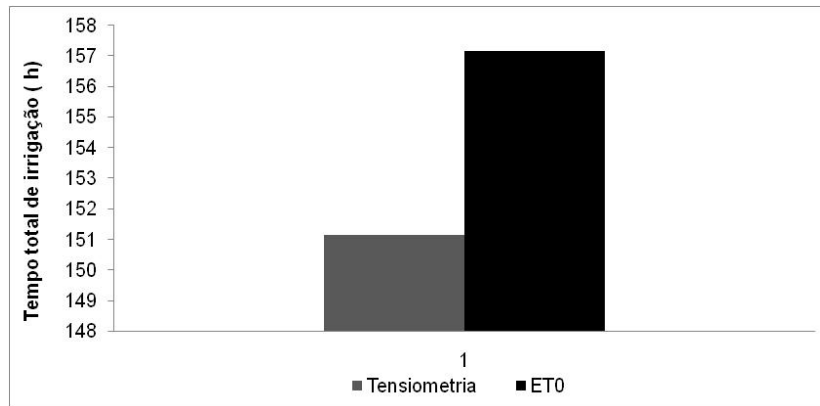


Figura 16 – Tempo total de irrigação realizada durante o ciclo da cultura, a partir dos dados tensiometricos e pela evapotranspiração de referência.

A Figura 17 mostra o tempo de irrigação calculado a partir da  $ET_0$  e o tempo de irrigação calculado pela tensiometria durante todo o ciclo da cultura, revelando que os tempos de irrigação observados pelo método tensiometrico estiveram sempre coincidente ou abaixo dos valores calculados com base na  $ET_0$  até o 77 dap. No intervalo entre os dias 77 e 95 dap verificou-se que não seria necessária a realização de irrigação, segundo indicação dos dois métodos testados; tal resultado é atribuído a fase fenologia que a cultura se encontra durante este período, compreendendo a fase de maturação dos frutos, onde se faz necessária uma redução ou eliminação do fornecimento hídrico a cultura. Na fase final de maturação o consumo hídrico da videira diminui, além disso, o excesso hídrico, combinado com temperaturas elevadas, torna a cultura muito susceptível a doenças (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996).

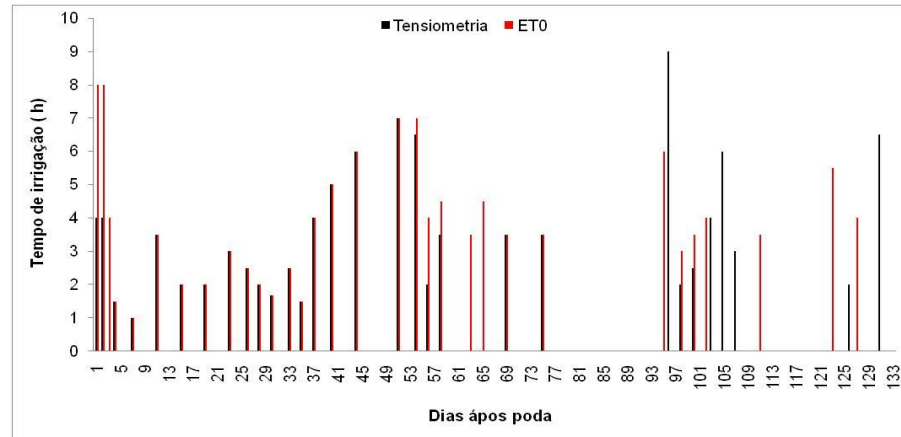


Figura 17- Tempo de irrigação calculado com base nos dados tensiometricos e pela evapotranspiração de referência (ET0) ao longo do ciclo da cultura.

A irrigação é retomada a partir de 96 dap onde o método tensiometrico sugere um maior tempo de irrigação e, por conseguinte uma maior lâmina de irrigação. No terço final do ciclo observa-se uma divergência maior entre os métodos testados quanto ao tempo de irrigação, havendo inclusive um intervalo entre os dias 109 a 125 onde o método tensiometrico indica interrupção da irrigação enquanto que o método climatológico recomenda o fornecimento hídrico ainda que em escalas menores. Segundo Lopes et al., (2004), a tensiometria quando bem conduzida oferece melhor entendimento das reais condições hídricas do solo na região do sistema radicular da cultura.

Finalmente, é importante frisar que a planilha pode ser um ferramenta de fácil utilização pelo produtor para que possam ser feitos ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura, principalmente quando deseja-se saber a umidade do solo antes e após as aplicações de água pelo sistema de irrigação, bem como após a ocorrência de chuvas, ou como no caso específico do sistema de produção de uvas no Sub-médio São Francisco, em quando deve-se reiniciar a irrigação após um período de redução ou interrupção da irrigação para o controle do vigor vegetativo da planta, e em quanto está sendo a redução da umidade do solo após a maturação das uvas, no final do ciclo de produção.

## CONCLUSÕES

1. A lâmina de irrigação calculada com a curva de retenção obtida pelo método de Arya & Paris foi maior que a determinada pelos métodos da centrífuga e de Richards. Por sua vez, esses dois últimos métodos proporcionaram valores de lâminas muito próximos.

2. O tempo total de irrigação com base na tensiometria foi menor que o tempo total de irrigação calculado com base na evapotranspiração de referencia.

3. A planilha eletrônica desenvolvida e testada é uma ferramenta acessível ao produtor, podendo auxiliá-lo na tomada de decisão quanto à aplicação de água, incluindo possíveis ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE, C.L.T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14p. (Circular técnica, 10).

ANGELOTTI NETTO, A. **Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso de equipamentos não convencionais, redes neurais artificiais e funções de pedotransferência**. 2007. 176.f Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

ANGELOTTI NETTO, A.; FERNANDES, E.J. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho em pousio e cultivo intensivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.8,p797-802, 2005.

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**., Madison, v. 45, p. 1023-1030, 1981.

BASSOI, L. H. et al. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 35-38, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

COSTA, M. B. da. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*coffea canephora L.*) e na cultura do mamoeiro (*carica papaya L.*) no município de Pinheiros – ES**. 2006. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DANTAS NETO, F. S. **Recursos hídricos e suporte tecnológico a projetos hidroagrícolas: Bacia do Alto São Francisco**. Viçosa: UFV; Belo Horizonte; RURALMINAS; Brasília: ANA, 2002. 258p.

DOURADO-NETO, D. et al. Programa computacional para modelagem de curvas de retenção de água no solo (SWRC, versão 2.00). **Scientia Agrícola**, v. .57, no.1, p.191-192, jan./jan. 2000.

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.



EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2a ed. 306p.

EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, M. de N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petrolina-PE**. 2004. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração: Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

GONDIM, R. S.; AGUIAR, J. V. de; COSTA, R. N. T. Estratégias de manejo de água em caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.14-18, 2000.

HERNANDEZ, F.B.T. Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1994, Viçosa - MG. **Anais...** Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p. (Artigo 286)

HEERMANN, D.F.et al. Irrigation scheduling controls and techniques. In STEWART,B. A.; NIELSEN, D.R;(Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASAE, 1990. p.509-535(ASAE. Agronomy series, 30)

JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: John Wiley & Sons, Krieger Publishing Company, 1988. 543 p.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph. Madison: American Society of Agricultural Engineers, 1983. 829 p.

KOOL, J. B.; PARKER, J. C.; GENUTCHEN, M. T. van. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 91, p. 255-293, 1987.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n.1, p.89-100, 2004.

MIRANDA, F. R. de. **Irrigacaju**: planilha eletrônica para o manejo da irrigação na produção integrada de caju. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2005.8p. (Circular técnica, 23). On line.

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

NAIME, J. M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Automated soil particle analyzer based on gamma-ray attenuation. **Comput. Electron. Agr.** v. 31, p. 295-304, 2001.

NAIME, J. M.; SHINYA, V. T.; VAZ, C. M. P. Programa para estimativa indireta da curva de retenção da água no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, 2004, Santa Maria-RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

NAIME, J. de M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Determinações físicas do solo a partir da granulometria: Programa Qualisolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju, **Resumos e palestras...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, E. **Efeito da Crotalaria juncea Linn na eficiência agrônômica, econômica e energética de culturas em sucessão sob plantio direto.** 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997.

PEDROTTI, A. et al. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 27, p. 1-9, 2003.

PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-43, 1997.

PIRES, R. C. M. et al. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. M. (Ed). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. Seção 1, p. 121-194. (Série Engenharia agrícola, 1).

QUAGLIA, A.M.L. et al. **Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho)**. Brasília: CODEVASF, 1989. 154 p. (Relatório de avaliação Ex-post).

QUEIROZ, T. M. de; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de *software* e *hardware* para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.1, p.44-54, 2008.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M.S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil.** Petrolina-PE: EMBRAPA/CPATSA, 1993. 280 p.

SANTOS, S. S. dos. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo.** 2004. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante.** São Paulo: IPT, 1992. 27 p.

SILVA, B. B. da et al. Medidas de transpiração de um pomar de goiabeiras pelo método do balanço de calor caulinar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 19-27, 2002.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1487-1494, 2002.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. **Período de centrifugação adequado para levantamento da curva de retenção da água em solos do bioma Cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 40p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8).

SILVA, M.S.L. **Caracterização e gênese do adensamento subsuperficial em solos do Tabuleiro do Semi-Árido do Nordeste do Brasil.** 2000. 126f. Tese(Doutorado) - UFRGS, Porto Alegre, 2000.

SILVA, E. M. da. **Analysis of furrow irrigation uniformity as affected by furrow spacing.** 1990. 449 leaves. Thesis (Ph.D.) - University of Arizona, Tucson, 1990.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F.; SANTOS, C. R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 281-309.

SOUSA, M.B.A. de et al. Análise do manejo da irrigação em sistemas por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada no norte do Espírito Santo. In: MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R. **Irrigação do cafeeiro:** informações técnicas e coletâneas de trabalhos. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais; UFV, 2003. p. 146-154. (Boletim técnico, 8).

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; Zoneamento agroclimático para a videira europeia no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.137-141, 1996.

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

Van. GENUTCHEN, M. T.; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n. 6, p. 403-410, 1999.

VAZ, C. M. P. et al. **Análise granulométrica por raios gama**. São Carlos: EMBRAPA/CNPDIA, 1997. 13p. (Boletim de pesquisa, 5).

WÖSTEN, J. H. M. et al. Functional sensitivity analysis of four methods to generate soil hydraulic functions. **Soil Science Society of America Journal**, Amsterdam, v. 55, p. 832-836, 1990.

ZHUANG, J.; JIN, Y.; MIYAZAKI, T. Estimating water retention characteristic from soil particle-size distribution using a non-similar media concept. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 5, p. 308-321, 2001.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A necessidade cada vez mais freqüente de preservação dos recursos hídricos disponíveis reforça a necessidade de um planejamento da irrigação de modo que sejam minimizadas as perdas sem prejuízos a cultura. A utilização de métodos que proporcionem um correto monitoramento da umidade do solo pode inferir com maior precisão quando e quanto de água o produtor precisa fornecer a cultura, bem como a utilização de ferramentas eletrônicas com o objetivo de facilitar a tomada de decisão por parte do produtor quanto ao momento certo de realização da irrigação.