UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HÍDRICOS DO SOLO EM UM PLANTIO ADENSADO DE *Eucalyptus urograndis*.

MARIA CLÁUDIA MARTINELLI TRABULSI

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

BOTUCATU - SP
Agosto - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HÍDRICOS DO SOLO EM UM PLANTIO ADENSADO DE *Eucalyptus urograndis*.

MARIA CLÁUDIA MARTINELLI TRABULSI
Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra
Co-Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

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

BOTUCATU – SP
Agosto – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Trabulsi, Maria Cláudia Martinelli, 1982-
T758a Avaliação dos parâmetros hídricos do solo em um plantio adensado de *Eucalyptus urograndis* / Maria Cláudia Martinelli Trabulsi. - Botucatu : [s.n.], 2011
vi, 48 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Co-orientador: João Carlos Cury Saad
Inclui bibliografia

1. Cultivo adensado. 2. Eucalipto. 3. Solos - Umidade. 4. Tensiômetros. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Saad, João Carlos Cury. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HÍDRICOS DO SOLO EM UM PLANTIO ADENSADO DE Eucalyptus urograndis"

ALUNA: MARIA CLÁUDIA MARTINELLI TRABULSI

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPE S. GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. SAULO PHILIPE S. GUERRA

PROF. DR. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA

PROFA. DRA. KELLY CRISTINA TONELLO

Data da Realização: 05 de agosto de 2011.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo Professor Saulo Guerra pela paciência, incentivo e confiança. Pelos ensinamentos na vida acadêmica, profissional e pessoal.

Aos professores Kelly Tonello e José Mauro Santana, por participarem e colaborarem com este trabalho.

Ao professor João Saad por todo auxílio prestado desde a implantação do experimento.

Ao amigo Emanuel pela companhia e grande ajuda no campo.

Aos funcionários do Departamento de Solos, Pedrinho, Jair e Noel pelo empréstimo do material utilizado.

Ao funcionário do Departamento de Engenharia Rural Gilberto, que nos ajudou na construção dos tensiômetros e na implantação do experimento no campo.

À minha família pela dedicação de sempre, amor e confiança.

Ao meu querido Rogério pela paciência, amor e carinho.

Aos amigos Leonardo, Thalita, Kairo e Cleber que estiveram comigo desde a graduação e me ensinaram muito da vida científica. Obrigada pelo companheirismo!

À querida amiga Luciana pela dedicação, amizade e companheirismo.

E a todos que sempre contribuíram direta ou indiretamente para que este desafio se fizesse concreto, de longe ou de perto.

SUMÁRIO

Página

1 RESUMO 1

2 SUMMARY 3

3 INTRODUÇÃO 4

4 REVISÃO DA LITERATURA 6

4.1 A água e o eucalipto 6
4.2 Relação solo-planta-atmosfera 7
4.3 Umidade do solo 10
4.4 Tensiometria 12
4.5 Disponibilidade hídrica e produtividade florestal 13
4.6 Balanço hídrico climatológico 15

5 MATERIAL E MÉTODOS 18

5.1 Localização e caracterização da área experimental 18
5.2 Histórico da área 19
5.3 Disposição das parcelas experimentais 19
5.4 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade 20
5.5 Curvas de retenção de água 20
5.6 Balanço hídrico climatológico 20
5.7 Determinação do potencial matricial pelo método do tensiômetro 21
5.8 Determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico 23
5.9 Crescimento das plantas 24

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 25

6.1 Análise física do solo 25
6.2 Balanço hídrico climatológico para Botucatu-SP 26
6.3 Avaliação do potencial matricial em função dos diferentes espaçamentos e profundidades 29
6.4 Avaliação da umidade do solo 34
6.5 Avaliação do crescimento da floresta 36

7 CONCLUSÕES 38

8 REFERÊNCIAS 39

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01 -	Trado holandês para retirada das amostras de solo (A), latas numeradas para armazenar as amostras de solo (B)	21
02 -	Cápsula porosa (A), Suporte do manômetro de mercúrio (B), Trado de rosca para instalação dos tensiômetros (C)	22
03 -	Tensiômetros com 0,30 m e 0,90 m de comprimento (A), Tensiômetros instalados a 0,50 m do tronco das árvores dentro das parcelas (B)	23
04 -	Curvas de Retenção aos 0-10 cm (A), aos 10-30 cm (B), aos 30-50 cm (C), aos 50-70 cm (D) e aos 70-90 cm (E)	26
05 -	Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no período de 2005 a 2010	27
06 -	Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no ano de 2009	27
07 -	Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no ano de 2010	28
08 -	Balanço hídrico normal mensal do Município de Botucatu-SP no ano de 2010	29
09 -	Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro, março e abril	30
10 -	Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro, março e abril	30
11 -	Resultado da leitura dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período seco, representado pelos meses de maio a setembro	31

12 - Resultado da leitura dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período seco, representado pelos meses de maio a setembro 31

13 - Resultado da leitura dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de outubro a janeiro 32

14 - Resultado da leitura dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de outubro a janeiro 32

15 - Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) representando todo o período de coleta de dados 33

16 - Umidade do solo coletada a 0,30 m de profundidade, no período seco nos diferentes espaçamentos 34

17 - Umidade do solo coletada a 0,90 m de profundidade, no período seco, nos diferentes espaçamentos 34

18 - Umidade do solo coletada a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, nos diferentes espaçamentos 35

19 - Umidade do solo coletada a 0,90 m de profundidade, no período chuvoso, nos diferentes espaçamentos 35

LISTA DE TABELAS

Tabela Página

01 - Volume médio com casca (m^3.árvore^{-1}) de acordo com os espaçamentos em dezembro de 2009 e dezembro de 2010 36

02 - Volume médio com casca (m^3.ha^{-1}) em função dos espaçamentos em dezembro de 2009 e dezembro de 2010 36

1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as relações hídricas no solo em função de diferentes espaçamentos em uma floresta de curta rotação, assim como o crescimento das árvores de *Eucalyptus urograndis*. A implantação da floresta ocorreu em dezembro de 2008 e o experimento somente foi instalado em janeiro de 2010. A área total de dois hectares foi subdividida em cinco parcelas com espaçamentos diferentes (2,8 metros entre linhas e 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 m entre plantas). Foram feitas análises da umidade do solo semanalmente, através de dois métodos, gravimétrico e dos tensiômetros. Nas cinco parcelas com o plantio de *Eucalyptus urograndis* foram instaladas, aleatoriamente, três baterias de tensiômetros a duas profundidades, sendo 0,30 e 0,90 metro. Os dados foram coletados de fevereiro de 2010 a janeiro de 2011. Ao começar a época da seca, em julho de 2010, iniciou-se a coleta de amostras de solo pelo método gravimétrico. Foram coletadas três amostras por parcela e por profundidade, totalizando 30 amostras, sendo que o local de coleta foi escolhido aleatoriamente dentro de cada parcela, porém a 0,50 metro da linha de plantio. Os dados do potencial matricial foram obtidos através dos tensiômetros e transformados em umidade por curvas de retenção de água determinadas na área. Os dados pluviométricos foram obtidos através da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas, sendo utilizados para elaborar o balanço hídrico da região através do Método de Thornthwaite e Matther. Também foram avaliados aspectos físicos do solo como: densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total. Para obter a informação sobre o crescimento das árvores,

foram coletados no início e ao final do experimento, dados de altura e diâmetro de 30 árvores aleatoriamente dentro das parcelas para estimar o volume com casca e assim encontrar o incremento médio anual. Na época chuvosa, percebeu-se uma tendência de menores tensões no espaçamento maior, ou seja, maior quantidade de água no solo quando há menor quantidade de árvores. Na época da seca, representada pelos meses de maio a setembro, as tensões foram maiores, dificultando as leituras pelo método do tensiômetro. Concluiu-se que quanto maior o espaçamento e menor a quantidade de árvores por hectare, maior a competição por água e nutrientes. As plantas do espaçamento mais adensado possuem menor volume individual.

Palavras-chave: tensiômetros, umidade do solo.

EVALUATION OF SOIL-WATER PARAMETERS AS A FUNCTION OF ROW SPACE IN AN *EUCALYPTUS UROGRANDIS* PRODUCTION. Botucatu, 2011. 54 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARIA CLÁUDIA MARTINELLI TRABULSI

Advisor: SAULO PHILIPE SEBASTIÃO GUERRA

Co-Advisor: JOÃO CARLOS CURY SAAD

2 SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the soil-water relations in the soil as a function of different spacing in a short rotation forest and evaluate the growth of *Eucalyptus urograndis*. The forest was planted in December 2008 and this research was installed in January 2010. The two hectares area was subdivided in five plots with different spacing (2.8 x 0.5, 2.8 x 1.0, 2.8 x 1.5, 2.8 x 2.0, 2.8 x 2.5 meters). The moisture soil was analyzed thought two methods, gravimetric and tensiometers. In all the five plots, it was installed three batteries of tensiometers in two different deeps, 0.30 and 0.90 meters. Data was collected from February 2010 to January 2011. When the dry season has begun, in July 2010, the samples started to be collected thought gravimetric method. It was collected three samples by plot and deep, in a total of 30 randomized samples inside the plots, but 0.50 meter from the row. Matric Potential data was obtained thought tensiometers and changed to moisture thought retention curves. Pluviometer data were obtained from Agronomic Sciences Faculty Agrometeorology Station and used to elaborate the water balance of the region thought Thornthwaite Method. Soil physics were evaluated. The growth of the trees was evaluated collecting high and diameter breast high. The spacing 2.8 x 2.5 m has fewer trees, so there's more water in the soil. And the spacing 2.8 x 0.5 m has more trees, less water in the soil because of the competition between plants.

Keywords: soil moisture, tensiometer

3 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem apresentado crescimento com relação às florestas plantadas, as quais fornecem matéria prima para papel e celulose, carvão vegetal, móveis, construções, entre outros, representando 3,4 % do produto interno bruto brasileiro, nas exportações e na geração de empregos, em 2010.

O Governo brasileiro, através do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) 2006-2011, está incentivando o setor energético a buscar alternativas para substituir os combustíveis fósseis por fontes renováveis, sendo uma delas, as florestas plantadas ou florestas energéticas. Este conceito atual é bastante utilizado para o plantio de espécies exóticas, sendo que pesquisadores acreditam que estas são um problema para o ecossistema por possuírem menor diversidade biológica e consumir muita água. Para outros pesquisadores, uma alternativa de diminuição dos desmatamentos, por substituir a madeira nativa por reflorestada, gerar energia limpa, entre outras.

As espécies exóticas, principalmente o eucalipto, possui um crescimento muito rápido comparando-se com as espécies nativas, fazendo com que o consumo hídrico anual seja elevado, porém com bom nível de eficiência de uso da água.

As florestas, sejam elas plantadas ou nativas, são de grande importância para melhorar a paisagem, prevenir erosões, manter os lençóis freáticos para a realização do ciclo hidrológico, entre outras funções.

Desta forma é preciso entender a relação entre os elementos fundamentais de uma floresta, tais como: solo, planta, água e atmosfera, bem como manejá-los corretamente. Pesquisando sobre os fatores fisiológicos e ambientais que controlam a interação desses elementos, é possível analisar a influência das plantas sobre o teor de água no solo, a atuação das raízes e ainda o efeito da vegetação sobre a água no solo.

O metabolismo das plantas é afetado tanto pelo déficit hídrico quanto pelo excesso de água no solo, por isso é importante estudar a disponibilidade de água no solo. Outro fator importante, que pode ter influência na quantidade de água no solo de uma floresta de curta rotação e consequentemente na produtividade, é a adequada densidade populacional.

A densidade populacional de um plantio deve ser definida após a escolha do destino final da madeira, pois o desenvolvimento das plantas tanto em altura quanto em diâmetro será influenciado pela mesma.

O presente projeto teve como objetivo avaliar as relações hídricas no solo de uma floresta de curta rotação de *E. urograndis* em diferentes espaçamentos, assim como o seu crescimento.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 A água e o eucalipto

Em todo o mundo, as plantações florestais sempre estiveram no foco de discussões, relacionadas principalmente com seus possíveis impactos sobre os recursos hídricos (LIMA, 2010).

Segundo dados da FAO (2005), o total de área plantada atinge aproximadamente 50 milhões de hectares nas regiões tropicais no mundo, com uma taxa de novos plantios da ordem de 3 milhões de hectares por ano. Torna-se cada vez mais evidente o fato de que a disponibilidade natural de água constitui hoje um dos mais importantes temas relacionados ao manejo dos recursos naturais em todo o planeta (ZALEWSKI, 2000; WAGNER et al., 2002). Desta forma, essas evidências estão exigindo que o manejo das plantações florestais incorpore, definitivamente, em seu plano a análise dos possíveis impactos hidrológicos de forma mais sistêmica (LIMA, 2005; CALDER, 2007; VANCLAY, 2009).

A ocorrência de florestas está sempre associada a condições naturais de abundância de água, em termos do balanço hídrico climático caracterizado por precipitação média anual maior do que a evapotranspiração potencial, que define os chamados climas úmidos. Por essa mesma razão, não foi por acaso que surgiu no passado, o mito de que a floresta faz chover, que gerou muita controvérsia e chegou mesmo a ser avaliado em trabalhos experimentais (LIMA, 2010).

Segundo Sacramento Neto (2001) o fato de o eucalipto ser uma espécie florestal de crescimento rápido, tem causado preocupação ambiental, uma vez que pode provocar redução da quantidade de água contida no solo.

Calder (2007) afirma através de seus estudos, que o consumo de água pelas florestas é em geral, maior do que o consumo de vegetação de menor porte de culturas agrícolas não irrigadas. As plantações florestais com espécies de rápido crescimento apresentam maior consumo de água em comparação com vegetação de menor porte, bem como com floresta natural ou plantações com espécies de crescimento lento.

Analisando resultados disponíveis sobre aspectos fisiológicos em termos de taxa de transpiração, dinâmica dos estômatos, índice de área foliar, eficiência do uso da água, perdas por interceptação e balanço hídrico, Whitehead e Beadle (2004) concluem que o eucalipto é uma espécie florestal absolutamente normal, que não consome mais água por unidade de biomassa produzida do que qualquer outra espécie florestal apresentando inclusive uma melhor eficiência do uso da água. Lima (2010), também afirma que o eucalipto é uma espécie florestal absolutamente normal do ponto de vista fisiológico do consumo de água.

Segundo Lima e Zakia (1996) o eucalipto é uma árvore que possui um crescimento muito acelerado por isso sua demanda por água é maior, porém não diferindo muito de outras espécies florestais. No entanto sua eficiência no uso de água é melhor que a de muitas espécies florestais, pois a quantidade de madeira produzida por unidade de água evapotranspirada é considerada alta.

De acordo com Couto e Dubé (2001), o cultivo do eucalipto é uma alternativa de preservação da natureza, pois, a partir de 1994, as práticas silviculturais, sugeriram abolir a queima e o preparo convencional do solo. Leite et al. (1997), em trabalhos a respeito de regime hídrico do solo, com diferentes coberturas vegetais (eucalipto, mata nativa e pastagem), constataram que o eucalipto não interferiu de modo negativo no regime hídrico do solo, quando comparado aos outros tipos de vegetação.

4.2 Relação solo-planta-atmosfera

O crescimento e o desenvolvimento dos vegetais é conseqüência de vários processos fisiológicos controlados pelas condições ambientais e características

genéticas de cada espécie vegetal, portanto, para melhor compreender o crescimento, o desenvolvimento e o impacto hidrológico de uma plantação de eucalipto, faz-se necessário conhecer os fatores que controlam o uso da água (SACRAMENTO NETO, 2001).

Vários fatores controlam as interações entre o sistema solo-planta-atmosfera em plantios de eucalipto, dentre os quais se destacam os fatores fisiológicos e as condições ambientais. As principais variáveis ambientais que controlam as trocas gasosas entre o dossel vegetal e a atmosfera são: irradiância solar, disponibilizando energia para o processo de evaporação e transpiração; temperatura do ar, controlando o déficit de pressão de vapor entre a cavidade estomatal e a atmosfera; disponibilidade de água no solo, e que regula a abertura estomática e consequentemente, o processo de difusão do vapor de água entre a cavidade estomatal e a atmosfera, podendo afetar a produtividade, como verificado por Souza et al. (2006).

Leite (1996) afirma que as perdas de água nas espécies vegetais são comandadas pela demanda climática principalmente. Para se obter uma produção satisfatória em qualquer cultivo, os fatores climáticos exercem influência, e dentre estes, o suprimento de água adequado para determinada espécie é um dos mais relevantes. Quando o suprimento de água não atende as necessidades da planta, desenvolve-se o estresse hídrico, o que pode eventualmente ocasionar redução de fotossíntese, afetando adversamente o crescimento da cultura e, portanto a produtividade (PEREIRA et al., 2002).

A água é um dos principais constituintes dos vegetais e seu conteúdo varia de acordo com o tipo de órgão ou o tecido e com o balanço hídrico da planta. É o solvente universal utilizado no transporte de gases, minerais e solutos nos vegetais, reagente nos processos metabólicos vegetais como a fotossíntese, atua no alongamento da célula e abertura de estômatos e regula a temperatura nos tecidos em virtude do seu alto calor específico e calor latente de vaporização, que permitem grande absorção de radiação e dissipação de energia (PEREIRA et al., 2002).

Segundo Saad (1990) a água é fator fundamental na produção vegetal, tendo sua falta ou excesso influência decisiva no desenvolvimento das plantas. Por esta razão, o conhecimento da exigência em água das culturas, bem como o manejo racional dos recursos hídricos, são fatores fundamentais na maximização da produção agrícola.

As trocas de água no sistema solo-planta-atmosfera são dirigidas por uma série de processos que se inter-relacionam. Nas espécies vegetais as perdas de água pelo processo de transpiração são regidas, principalmente, pela demanda climática, mecanismos fisiológicos, estrutura do dossel, disponibilidade de água no solo e resistências encontradas no sistema solo-planta-atmosfera (LEITE, 1996).

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos em plantios de eucalipto em várias partes do mundo, visando melhorar o entendimento desse processo. Um dos pioneiros em trabalhos de evapotranspiração do eucalipto foi Tchirch (1882) citado por Sacramento Neto (2001), na França. Wood (1934) apud Sacramento Neto (2001), já citava a grande variação da evapotranspiração entre as espécies de eucalipto. No Brasil, Almeida e Soares (1997) estudaram os componentes do balanço hídrico climatológico mensal, em áreas de eucalipto, no Estado do Espírito Santo e ainda, Mielke et al. (2000) estudaram as trocas gasosas e relações entre umidade do solo, potencial de água na folha e variáveis climáticas em cultura de eucalipto.

Vários autores têm utilizado a metodologia do balanço hídrico para a obtenção de estimativas da evapotranspiração em áreas florestadas. Lima (1975) comparou o ciclo da água em plantações de eucaliptos, de pinheiro e uma parcela contendo vegetação herbácea natural e concluiu que no período da seca, as taxas médias de evapotranspiração de pinheiro e eucalipto foram iguais. Resultados similares também foram encontrados por BELL e GATENBY (1969), AUSSENAC (1972) apud Lima (1976), que não observaram diferenças marcantes entre a evapotranspiração de essências coníferas e de essências folhosas.

Gomes (1994) avaliou o efeito do espaçamento no crescimento e relações hídricas de três espécies de eucalipto, entre 14 e 26 meses de idade. Embora tenha verificado uma tendência de ocorrer maiores condutâncias estomáticas e, portanto, maiores taxas de transpiração em plantas com maiores espaçamentos, os testes estatísticos não mostraram significância nas variações encontradas.

O conhecimento do consumo de água de povoamentos florestais é importante por várias razões, mas a quantificação desta fase do ciclo hidrológico em condições naturais é muito difícil. De fato não se conhecia método preciso para se avaliar o consumo de água de superfícies vegetadas (LIMA; FREIRE, 1976).

Soares e Almeida (2001) desenvolveram um modelo de uso de água em plantações de eucalipto que indicou que em anos em que chove em torno da média histórica (1.300 mm) desta região do Espírito Santo, existe equilíbrio entre evapotranspiração e precipitação.

Conhecendo-se melhor a variação da umidade do solo é possível avaliar de modo mais eficaz a influência das plantas sobre a disponibilidade de água no solo, fazer inferências a respeito da transpiração dos vegetais, além de determinar a região onde o sistema radicular atua de modo mais eficiente, dentre outros (SACRAMENTO NETO, 2001).

4.3 Umidade do solo

O conhecimento da variação da água no solo é importante devido a algumas razões como, permitir a comparação dos efeitos de diferentes espécies de plantas, como é o caso do eucalipto, sobre a água contida no solo e subsolo; fornece informações sobre a transpiração e evaporação de diferentes vegetais e solos, respectivamente, pois como é sabido, a maior parte da água que é retirada para a transpiração, vem das camadas de solo mais próximas à superfície (HARR; PRICE, 1972; TALSMA; GARDNER, 1986).

A água que a planta retira do solo, é principalmente, função da estrutura do sistema radicular dentro do perfil de solo, sendo que raízes finas são bem mais eficientes na retirada de nutrientes e água do solo. O crescimento do sistema radicular é determinado, principalmente, pelas condições ambientais tais como disponibilidade hídrica, características do solo, dentre outras (SACRAMENTO NETO, 2001).

Lima (1996) diz que como resultado da absorção de água pelas raízes finas, um gradiente de potencial acaba por se desenvolver entre a região imediatamente ao redor dessas raízes e as demais partes do perfil do solo, induzindo desta forma a difusão da umidade do solo em direção as raízes finas. À medida que o solo se torna mais seco, esse fluxo de água começa a se tornar mais difícil, e a retirada de água pela transpiração das plantas tende a diminuir continuamente.

Incoll (1979), numa cultura de *E.regnans* de 29 anos de idade, verificou que cerca de 98% do peso seco das raízes se encontravam nos primeiros 60 cm, próximos á superfície do solo e, a raiz pivotante atingia cerca de 2,5 m de profundidade.

PECK e WILLIAMSON (1987) levantaram a possibilidade de que raízes de eucalipto, na Austrália, extraem água a profundidades maiores do que 6 metros. Ashton (1975) estudou a configuração do sistema radicular de *Eucalyptus regnans*, verificando um crescimento anormal do sistema radicular, com um máximo de crescimento em profundidade chegando a 7 metros de profundidade quando em idade adulta.

Conforme Tomas (2000), o conteúdo de água no solo, que é determinado, principalmente, através da precipitação, evapotranspiração e das características do solo, é um dos fatores mais importantes dos ecossistemas naturais e introduzidos pelo homem (agricultura). O conhecimento do teor de água no solo é de grande importância não somente para a agricultura, mas também para a hidrologia e para a meteorologia. A partição da água da chuva nos componentes escoamento superficial e infiltração está relacionada com o teor de água no solo (SCHMUGGE et al., 1980).

Segundo Klar (1984), existem alguns métodos disponíveis para se medir a umidade do solo, apresentando todos limitações, ou de precisão ou por serem dispendiosos, ou excessivamente morosos. As opções pelos métodos variam, principalmente, de acordo com os objetivos e disponibilidade instrumentais, sendo eles: gravimétricos, denominado “gravimétrico padrão”, que serve de referência para os demais métodos, bem como das pesagens, do acetileno e ainda da sonda de nêutrons.

A gravimetria é uma técnica amplamente utilizada para a determinação da umidade do solo e consiste na pesagem da amostra úmida, remoção da água em uma estufa a 105º C e nova pesagem da amostra para determinar a quantidade de água removida. O teor de água é obtido através da relação entre a diferença das massas das amostras úmida e seca, e a massa da amostra seca. A umidade do solo pode ser expressa por massa ou volume. Entre as vantagens desse método citadas por SCHMUGGE et al. (1980) tem-se que a aquisição da amostra não é cara e a umidade do solo pode ser facilmente calculada.

A técnica da moderação de nêutrons pode ser utilizada para determinar o conteúdo de água em determinada profundidade no solo (TEIXEIRA et al., 2005). Sua utilização para determinar a umidade volumétrica do solo consiste em uma prática antiga (BERNARDO et al., 2006), tendo sido aplicada com sucesso, desde a década de 1960 (REICHARDT; TIMM, 2004). Este método baseia-se na estreita correlação existente entre a quantidade de nêutrons a ser medida no aparelho e a quantidade de hidrogênio no solo

(BERNARDO et al., 2006), já que o teor de água é diretamente proporcional à quantidade de nêutrons moderados após a colisão com átomos de hidrogênio existentes no solo (BATISTA, 2004).

A técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) vem se apresentando como promissora nos trabalhos de medida de umidade no campo. Trata-se de uma técnica não destrutiva, baseada na transmissão e recepção de sinais de microondas, através de “antenas” ou sondas instaladas no solo. No solo seco, os valores da constante dielétrica são tipicamente na faixa de 3 a 5, sendo que para a água este valor está em torno de 80. Assim sendo, pequenas quantidade de água são capazes de afetar extremamente o valor da medida de condutividade elétrica no solo (HERMANN, 1993).

Hignett (2000), analisando diversos métodos utilizados em medições do conteúdo de água no solo concluiu que cada um tem suas vantagens e desvantagens, sendo que em diferentes aplicações, a vantagem em uma pode ser desvantagem em outra. Portanto, não existe um método perfeito para todos os casos. Para selecionar o melhor, é necessário ter um bom conhecimento das propriedades do solo de interesse, das tecnologias disponíveis e dos objetivos desejados.

4.4 Tensiometria

O tensiômetro é um instrumento que determina diretamente a tensão com que a água está retida no solo e indiretamente determina a porcentagem de água no solo, ou seja, o tensiômetro serve para determinar o esforço que as raízes das plantas exercem para absorver a água que se encontra retida no solo, possibilitando assim determinar o momento da irrigação. Entretanto, para se definir a quantidade de água a aplicar é necessário conhecer a curva característica de água no solo, que é a relação entre a tensão e a umidade do solo (SALOMÃO et al., 2009).

Um tensiômetro consiste de uma cápsula porosa, geralmente feita de cerâmica, conectada a um manômetro através de um tubo, geralmente de PVC, preenchido com água. O tensiômetro deve ser instalado de forma a proporcionar um bom contato entre a cápsula porosa e o solo. Quando o potencial matricial da água no solo é menor (mais negativo) que o da água nos poros da cápsula, a água se desloca do tensiômetro para o solo, através dos

poros saturados, criando uma sucção medida pelo manômetro. Quando o solo é umedecido, o fluxo ocorre na direção reversa, até que um novo equilíbrio seja alcançado (OR; WRAITH, 2000).

A utilização de tensiômetros para obtenção da umidade no solo através da curva de retenção é a alternativa mais barata, sendo por isso mais acessível. Possui ainda, as vantagens de ser de utilização relativamente fácil e de produzir resultados de boa precisão (JOAQUIM JUNIOR, 2003).

A curva de retenção da água no solo é o gráfico que relaciona a quantidade de água no solo (a base de massa ou volume) com a tensão ou potencial matricial, ou ainda, é a curva que relaciona a quantidade de solução no solo em equilíbrio com a tensão aplicada (LIBARDI, 2000, 2005).

As curvas de retenção da água no solo são específicas para cada solo e expressam a capacidade que um determinado solo possui em reter água, permitindo uma avaliação rápida da disponibilidade da água dos solos para as plantas que é de fundamental importância no manejo de irrigação e para o desenvolvimento de estudos relacionados com a dinâmica da água, a modelagem de processos físicos do solo e o crescimento das plantas (TORMENA; SILVA, 2002).

4.5 Disponibilidade hídrica e produtividade florestal

O movimento da água em ambientes florestais, seja natural ou de plantações de espécies de crescimento rápido, depende da precipitação, da interceptação da água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade (drenagem profunda) e da evapotranspiração. Com exceção da precipitação, os demais processos são influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel (ALMEIDA; SOARES, 2003).

A chuva é a principal forma de entrada de água na fase solo, entretanto, uma porção da água da chuva pode ser interceptada pela parte aérea das plantas. A interceptação é a retenção temporária da água das chuvas pela copa das árvores, sendo redistribuída em água que respinga no solo, que escoa pelo caule e a água que volta a atmosfera por evaporação (HELVEY; PATRIC, 1965).

A medida da precipitação pluvial é relativamente simples, podendo ser realizada por pluviômetro com leitura manual ou acoplada a um sistema de aquisição de dados (CRUZ et al., 2005) e por estações meteorológicas automáticas.

A quantidade de água interceptada pelo dossel depende, principalmente, da intensidade e duração da chuva, da densidade populacional da cultura e do índice de área foliar. Leite (1996) verificou uma tendência de decréscimo linear da precipitação interna com a densidade populacional, em cultura de eucalipto no município de Santa Barbara, no Estado de Minas Gerais.

Tonello et al. (2004) afirmou que a precipitação interna pode ainda ser influenciada por características do próprio ecossistema como o índice de área foliar da vegetação que recobre o solo, rugosidade das folhas, ângulo de inserção das folhas, profundidade do dossel, estrutura das florestas, composição de espécies, fitossociologia, densidade de plantas, espaçamento de plantio e topografia do terreno. Estudando o gênero *Pinus*, verificou que o mesmo apresenta variações mais acentuadas, quando observada de forma geral, a precipitação efetiva varia de 69,3% a 93,4% da precipitação fora do plantio florestal. Enquanto que no gênero *Eucalyptus* a precipitação efetiva varia de 85,7% até 89,2%.

A relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade florestal ocorre devido aos efeitos diretos e indiretos da deficiência de água no crescimento das árvores; dentre esses efeitos, destacam-se: diminuição da taxa fotossintética por aumento da resistência estomática (VOSE; SWANK, 1994); diminuição do aporte nutricional das árvores via fluxo de massa e difusão; diminuição da velocidade de mineralização da matéria orgânica e, em grau mais elevado, o próprio colapso funcional, a nível citoplasmático e tissular, em virtude da deficiência hídrica (SANDS; MULLIGAN, 1990). Maestri (2003) estudando a influência das variáveis ambientais no incremento corrente anual em altura dominante de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, concluiu que as variáveis mais significativas foram a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração potencial, a temperatura máxima e a temperatura mínima. Stape (2002) também estudando este assunto concluiu que o aporte hídrico foi o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus uroplhylla*) e do uso de recursos naturais, assim como em períodos de déficit hídrico, a produção de madeira é significativamente afetada.

Leite (2005) afirmou que comparações feitas entre espécies de eucalipto e outras espécies florestais mostram que os plantios de eucalipto no Brasil consomem a mesma quantidade de água que as florestas nativas. Sua maior eficiência no aproveitamento da água garante maior produtividade quando comparado a outras culturas agrícolas (com 1 litro de água produz-se 2,9 gramas de madeira de eucalipto; com a mesma quantidade de água, produz-se apenas 1,8 gramas de açúcar, 0,9 grama de grãos de trigo e 0,5 grama de grãos de feijão).

4.6 Balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico surgiu da necessidade de se contabilizar a chuva e a evapotranspiração que ocorre em um ecossistema, com o objetivo de se conhecer a disponibilidade de água para as plantas, ao longo do ano (GHERARDI, 2008).

A evapotranspiração é um fator fundamental do balanço e pode ser determinada a partir de vários métodos (DOORENBOS; PRUITT, 1997), dentre os quais os de Thornthwaite e Penman-Monteith são bastante utilizados, o primeiro pela simplicidade dos cálculos e o segundo pela acurácia nos resultados, o qual é o recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1989).

O balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, tanto na escala diária como em escalas maiores como a mensal, utilizando-se valores médios de vários anos.

Segundo Rolim et al. (1998) os resultados de um balanço hídrico podem ser utilizados para fins de zoneamento agroclimático, demanda potencial de água nas culturas irrigadas e no conhecimento do regime hídrico.

Apesar de o balanço hídrico ser um bom indicador das condições hídricas do solo, ele, por si só, não dimensiona o impacto do déficit hídrico na produtividade das plantas. Por outro lado, a relação entre as transpirações real e potencial da cultura, denominada de transpiração relativa, fornece um valor que através do qual é possível relacionar o prejuízo da produtividade das plantas em função do déficit hídrico sentido pelas mesmas (CARVALHO, 2008).

4.7 Desenvolvimento de espécies florestais em função do espaçamento

Para a obtenção de um bom desempenho, do ponto de vista produtivo, deve-se conciliar uma determinada cultura às condições ambientais em que ela melhor se desenvolve, como: índice pluviométrico, radiação disponível, tipo e umidade do solo, área onde será efetuado o plantio, para minimizar as possibilidades de perdas de biomassa e crescimento pelas quais essas espécies seriam submetidas, aumentando, dessa forma, a produtividade e melhorando a eficiência de uso dos fatores de produção (LEITE, 1996).

O número ótimo de vegetais plantados dentro de determinada área de solo, capaz de utilizar de maneira adequada o meio onde foram cultivados, pode variar de acordo com a disponibilidade de água e o nível de fertilização do solo (EMBRAPA, 1993).

A variação do número de plantas de eucalipto por área poderá influenciar na quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e também na qualidade do produto final. Pode-se esperar que maiores densidades populacionais produzam maior biomassa inicial por área, em menor intervalo de tempo (LEITE, 1996). Dentro dessa linha de pesquisa alguns trabalhos foram desenvolvidos e algumas conclusões foram explicitadas, como por exemplo: a relação entre matéria seca e biomassa total da parte aérea total e de folhas mostra taxas crescentes com a redução de área útil disponível, isso dá a idéia de que em situações de menor área disponível a eficiência das folhas na produção de biomassa é maior (LEITE, 1996).

Garcia (2010), analisando um plantio de eucalipto com espaçamentos 2,8 metros entre linhas e 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 m entre plantas e três tipos de adubação, concluiu que a taxa de crescimento em altura decresceu em conseqüência do aumento do espaçamento em todas as doses de adubação.

A conciliação das exigências de determinado plantio de eucalipto quanto às condições de clima, solo, espaçamento entre plantas, disponibilidade de água, topografia, nutrientes, juntamente com o manejo adequado da cultura, deve ser feita de forma planejada para cada região o que acarretará em um maior crescimento e ganho de biomassa em um menor espaço de tempo e, consequentemente, proporcionará um maior ganho na produtividade final (SACRAMENTO NETO, 2001).

Segundo o trabalho de Whitehead e Kelliher (1991), a menor densidade de árvores remanescentes após um desbaste em uma plantação florestal de *Pinus radiata* foi suficiente para proporcionar uma redistribuição de 200 mm de água da chuva, que efetivamente fica disponível para recarregar o solo. Isso sinaliza que o controle do espaçamento pode ser uma medida de manejo que pode ser utilizada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em fevereiro de 2010, na Fazenda Três Sinos, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, numa área de aproximadamente 2,0 ha. A floresta de eucalipto foi plantada em dezembro de 2008, preparada com técnicas de cultivo mínimo, ou seja, preparo somente da linha de plantio com subsolagem e adubação individual das mudas, conforme histórico de aproximadamente vinte anos de cultivo. O solo possui textura arenosa.

A área experimental está localizada numa altitude aproximada de 875 m e situa-se entre as longitudes 48º24’43” W e 48º26’21” W e entre as latitudes 22º58’10” S e 22º59’25” S, na região de drenagem do rio Pardo, pertencente à bacia do Paranapanema. O clima predominante no município, segundo os critérios adotados por Koppen é Cfa, clima mesotérmico, com temperaturas médias superiores a 10ºC, cuja temperatura do mês mais quente é igual ou superior a 22ºC e o índice pluviométrico anual está em torno de 1600 mm, de acordo com dados da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas.

5.2 Histórico da área

Foi possível observar através de fotos aéreas do estudo de 1962, disponibilizadas pelo Laboratório de Fotointerpretação, do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, que a cobertura do solo era predominantemente de vegetação nativa do tipo Campos Sujos e Cerrado. Em 1972, plantava-se nesta área, *Pinus* sp.; porém, nas fotos aéreas de 2000 observou-se os plantios maciços de *Eucalyptus* spp., que têm sido cultivados a, aproximadamente, vinte anos, segundo informação do atual gerente da Fazenda Três Sinos.

5.3 Disposição das parcelas experimentais

Na área experimental instalada em dezembro de 2008, foram plantadas mudas de *Eucalyptus urograndis,* destinado à colheita precoce para produção de briquetes usados na geração de bioenergia.

A área apresentava aproximadamente 2 ha e foi dividida em 5 parcelas, sendo 5 espaçamentos diferentes entre plantas.

Utilizou-se a seguinte denominação para as parcelas:

A = espaçamento de 2,8 m x 0,5 m

B = espaçamento de 2,8 m x 1,0 m

C = espaçamento de 2,8 m x 1,5 m

D = espaçamento de 2,8 m x 2,0 m

E = espaçamento de 2,8 m x 2,5 m

A adubação utilizada foi 140 g.planta^{-1} no plantio de NPK (6-30-6), 50 g.planta^{-1} aos 60 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B(0,3%), 70 g.planta^{-1} aos 140 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B(0,3%) e 100 g.planta^{-1} aos 360 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B(0,3%).

5.4 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade

As densidades e a porosidade foram determinadas a partir de amostras coletadas em cinco perfis do solo nas profundidades de 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm e 90-120 cm, de forma que os perfis foram considerados as repetições para obtenção dos valores médios de cada atributo físico analisado.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico através da relação entre a massa de solo e o volume de solo seco. Foi utilizado um balão de 50 ml com 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), cujo volume é completado com álcool etílico, obtendo-se o volume de solo pela diferença entre o volume do balão e o volume de álcool (EMBRAPA, 1997).

A densidade do solo ou densidade aparente foi obtida pelo método do anel volumétrico e a relação entre densidade do solo e densidade de partículas gerou a porosidade total (EMBRAPA, 1979).

A porosidade foi calculada pela relação das duas densidades.

5.5 Curvas de retenção de água

Foram coletadas amostras de solo para obtenção das curvas de retenção. Foi retirado em torno de um quilo de solo nas profundidades de 0-10, 10-30, 30-50, 50-70 e 70-90 cm, colocados em sacos plásticos identificados e levados ao laboratório.

5.6 Balanço hídrico climatológico

Os dados de precipitação e temperatura do período de 2005 a 2010 foram obtidos através da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas, situada a 16 quilômetros da área experimental.

Houve a necessidade de se obter a CAD (Capacidade de Água Disponível), a evapotranspiração potencial e ainda os dados de precipitação e temperatura para cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Com essas

informações foi possível encontrar a evapotranspiração real, a deficiência ou excedente hídrico e a quantidade de água retida no solo.

O cálculo do balanço hídrico foi feito com o auxílio das planilhas no programa Excel elaboradas por ROLIM et al. (1998). Foi adotado o valor de 100 mm para a CAD (capacidade de água disponível).

5.7 Determinação do potencial matricial pelo método do tensiômetro

Os tensiômetros foram confeccionados artesanalmente utilizando-se tubos rígidos de PVC branco com diâmetro 1/2 polegada e comprimento correspondente a profundidade de instalação acrescido de 0,20 m (parte do equipamento que se localiza acima da superfície do solo). Uma cápsula porosa (Figura 1A) foi acoplada à extremidade em contato com o solo. Na outra, acima da superfície do solo, abriu-se rosca no tubo para uma rolha de borracha e uma tampa também em PVC.

Para a conexão do tensiômetro na cuba de mercúrio utilizou-se um fio de plástico. O suporte do manômetro de mercúrio foi confeccionado em madeira e moldado para acondicionar a cuba e a régua para medição (Figura 1B).

Para a instalação dos tensiômetros foi utilizado um trado de rosca (Figura 1C) com diâmetro semelhante ao tubo de PVC.

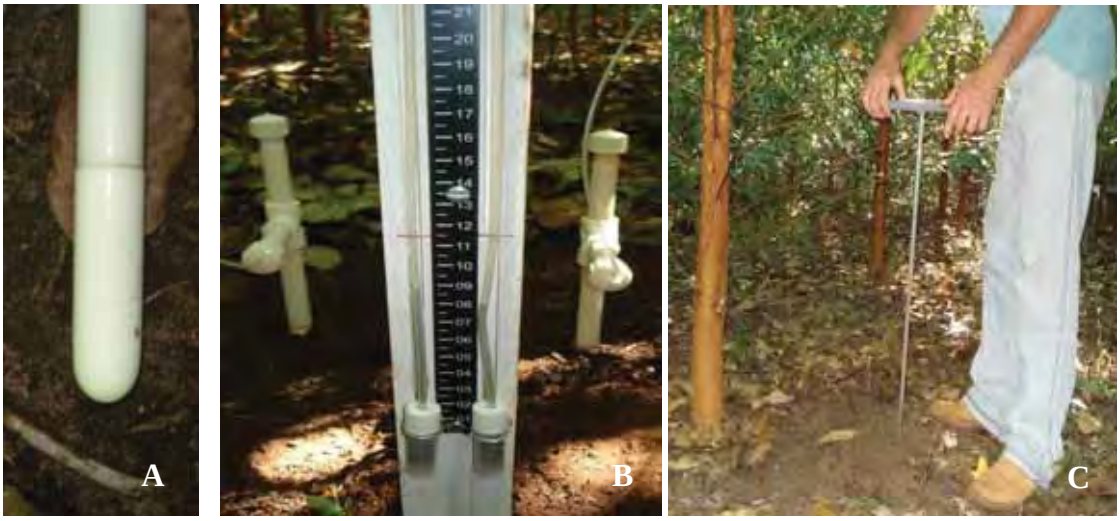

Figura 1. Cápsula porosa (A), Suporte do manômetro de mercúrio (B), Trado de rosca para instalação dos tensiômetros (C).

Foram instalados 32 tensiômetros com manômetro de mercúrio para medir o potencial matricial. Nas cinco parcelas foram instaladas três baterias (repetições) de tensiômetros, cada uma com duas profundidades (0,30 e 0,90 m) e a uma distância de 0,50 metros do tronco das árvores (Figuras 2A e 2B).

As leituras foram realizadas semanalmente de fevereiro de 2010 a janeiro de 2011, sempre no período da manhã, por volta de 9:00 horas.

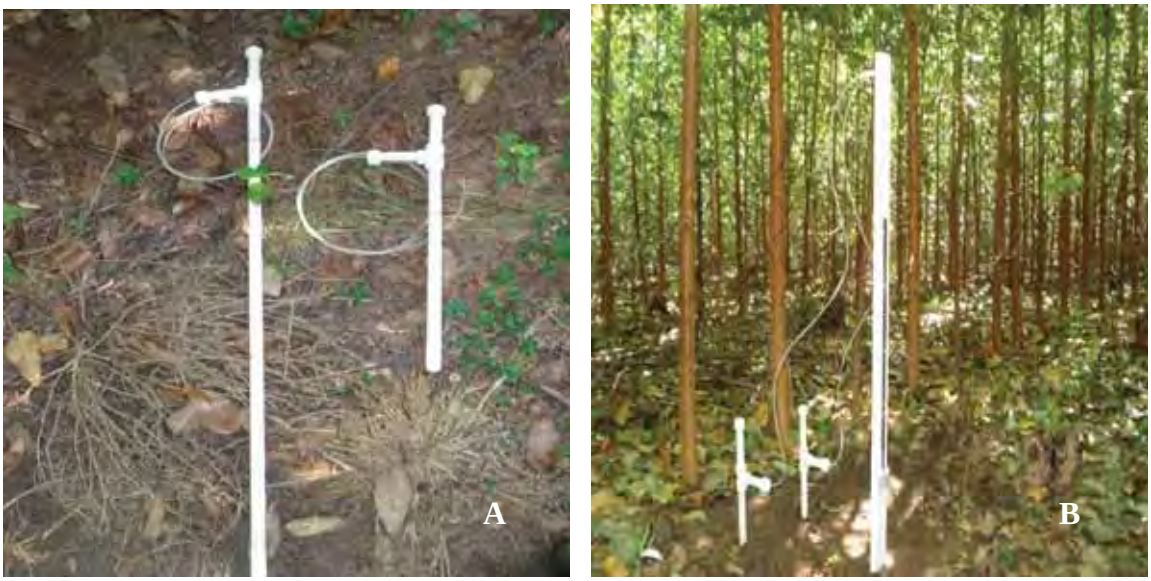

Figura 2. Tensiômetros com 0,30 e 0,90 cm de comprimento (A), Tensiômetros instalados a 0,50 m do tronco das árvores dentro das parcelas (B).

O potencial matricial foi determinado conforme equação 1.

$$\Psi_m = - 12,6 * h + h_1 + Z \quad (1)$$

Onde:

Ψ_m = potencial matricial, em cm de coluna de água;

h = altura de equilíbrio da coluna de mercúrio, em cm;

h_1 = altura da superfície do mercúrio até a superfície do solo, em cm;

Z = profundidade de instalação dos tensiômetros, em cm (do nível do solo até a metade da cápsula porosa).

Para estimar a umidade do solo, foi necessário obter a curva de retenção de água no solo para cada profundidade dos tensiômetros.

5.8 Determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico

Foram coletadas três amostras por profundidade (0,30 e 0,90 metros) e por parcela, totalizando 30 amostras, sendo que o local de coleta foi escolhido aleatoriamente dentro de cada parcela, porém a 0,50 metros da linha de plantio.

A coleta das amostras foi feita utilizando-se um trado holandês (Figura 3A) e o solo foi armazenado em latas de alumínio numeradas e de peso conhecidas (Figura 3B), as quais foram levadas ao laboratório ao final da coleta, pesadas e colocadas em estufa a 100°-105° durante 24 horas para posterior pesagem (EMBRAPA, 1997).

Quando começou o período seco em julho de 2010, iniciou-se a coleta das amostras de solo. A mesma foi estendida até o final do experimento, janeiro de 2011.

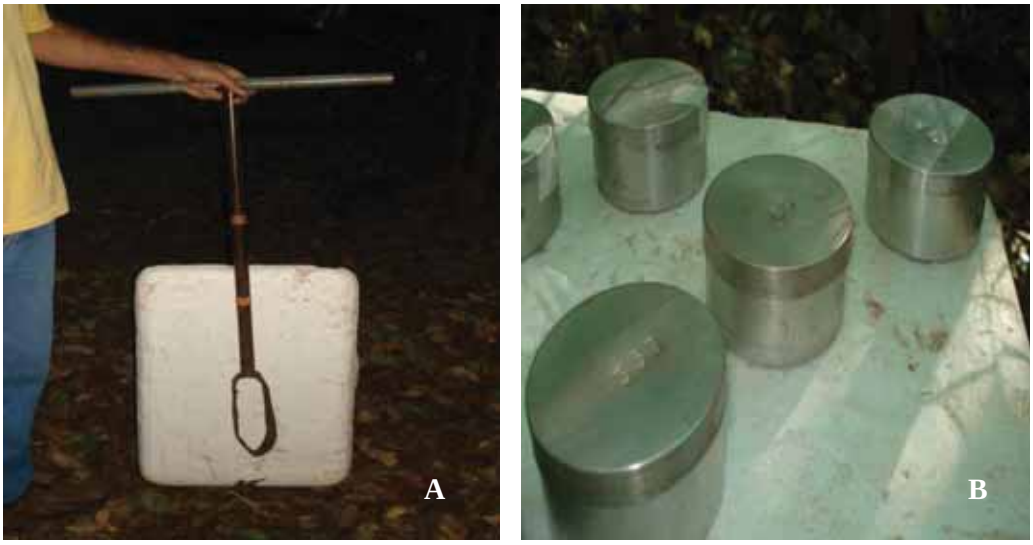

Figura 3. Trado holandês para retirada das amostras de solo (A), Latas numeradas para armazenar as amostras de solo (B).

5.9 Crescimento das plantas

O desenvolvimento das árvores foi obtido por meio de medições de altura, com auxílio de clinômetro digital e de diâmetro a altura do peito (DAP) com o auxílio de uma suta. Foram escolhidas 30 árvores aleatoriamente no centro de cada parcela. Esta coleta de dados foi realizada no início do experimento, aos 12 meses de idade das árvores e ao final do experimento aos 24 meses.

Com os dados coletados, foi calculado o volume cilíndrico corrigido pelo fator de forma 0,63 obtido em inventário exploratório de um povoamento de mesma espécie, o *Eucalyptus urograndis* e obteve-se o incremento médio anual (IMA) do período estudado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise física do solo

De acordo com os dados obtidos os valores médios de densidade do solo para as profundidades de 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm e 90-120 cm, foram respectivamente 1,49 $g.cm^{-3}$, 1,48 $g.cm^{-3}$, 1,42 $g.cm^{-3}$e 1,40 $g.cm^{-3}$.

Não houve diferença estatística dos valores de densidade do solo em função da profundidade. Os valores de densidade do solo, em todas as faixas de profundidade estão entre 1,2 e 1,9 $g.cm^{-3}$ o que lhe confere a característica de solo de textura mais arenosa (REINER; REICHERT, 2006).

Não houve diferença de comportamento entre as curvas de retenção, em relação às profundidades estudadas. Verificou-se que independentemente da profundidade estudada, o teor de umidade do solo se manteve em torno de 7,5 %, sendo que para a pressão, não houve variação, se manteve em 15 KPa ao longo de todo o perfil, conforme observado na Figura 4.

O fato das curvas de retenção apresentar o mesmo comportamento em todas as profundidades estudadas pode estar relacionado ao fato do solo em questão ser de textura arenosa e não ter apresentado diferentes densidades ao longo do perfil. Melo et al. (2004) não obtiveram alterações na retenção de água mesmo aplicando doses altas (50 $mg.ha^{-1}$) de material orgânico em solos de textura média e argilosa.

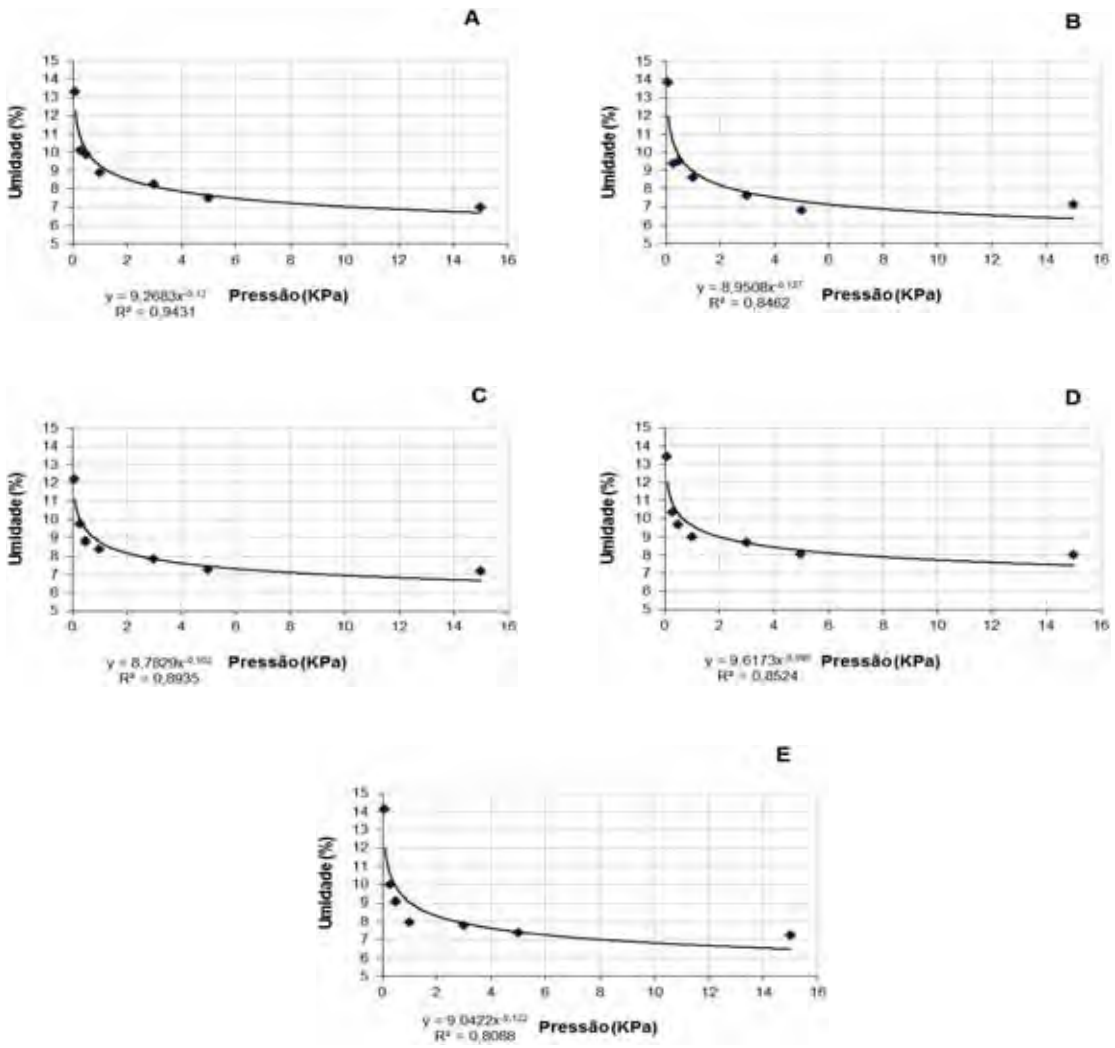

Figura 4. Curvas de Retenção aos 0-10 cm (A), aos 10-30 cm (B), aos 30-50 cm (C), aos 50-70 cm (D) e aos 70-90 cm (E).

6.2 Balanço hídrico climatológico para Botucatu-SP

Na Figura 5 verifica-se que nos meses de janeiro, fevereiro e março a precipitação atingiu o valor de 584,6 mm, sendo este, quase um terço da precipitação total média do período. Nos meses de abril e junho, as chuvas diminuíram e houve retirada de água do solo. Em agosto e setembro, foram os meses mais secos do ano, onde a falta de chuva fez com que ocorresse um déficit hídrico, voltando a chover em outubro.

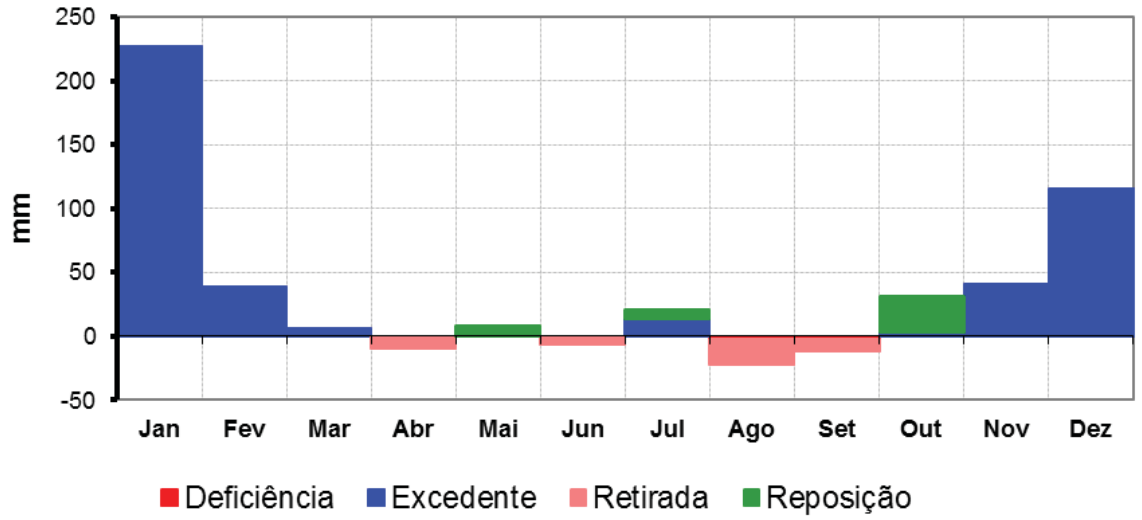

Figura 5. Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no período de 2005 a 2010.

Observa-se na Figura 6, o balanço hídrico para o ano de 2009, que foi um ano atípico quando comparado com as médias dos anos anteriores. A precipitação pluvial foi em torno de 1.900 mm durante todo o ano. O excedente hídrico prevaleceu em quase todos os meses, com exceção de março, abril e maio, que tiveram uma retirada de água em função da baixa pluviosidade do mês de fevereiro. Não houve déficit hídrico, pois o volume precipitado foi maior que a evapotranspiração durante quase todo o ano.

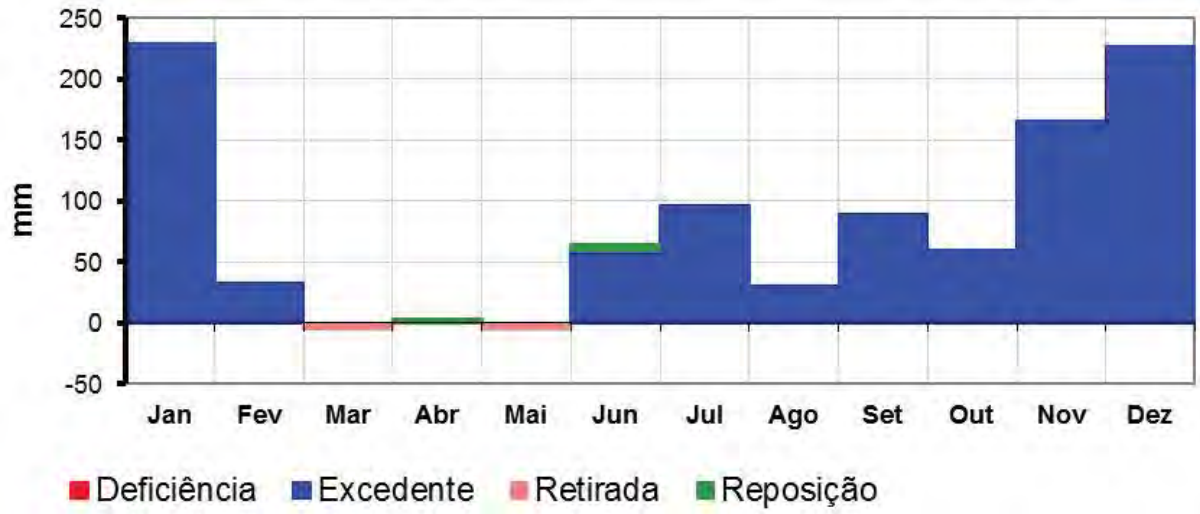

Figura 6. Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no ano de 2009.

O ano de 2010 foi um ano comum quando comparado com a média do período de 2005 a 2010, analisado anteriormente. A precipitação pluvial neste ano foi em torno de 1.300 mm. Nos meses de janeiro, fevereiro e março o volume precipitado foi 660 mm. A partir do mês de abril, com a diminuição das chuvas na região, houve um período de retirada seguida de déficit hídrico, que alcançou o valor de 34,3 mm no mês de agosto (Figura 7). Em novembro, no início do período chuvoso, período também definido por Souza et al. (2006) houve reposição de água no solo em função das primeiras chuvas, as quais são usadas para repor a água no solo. Até que este esteja plenamente abastecido, surge o excedente hídrico, também observado por Pereira et al. (2002).

Na Figura 8, pode-se observar um período de seca nos meses de abril a outubro, onde a precipitação pluvial foi menor que a evapotranspiração real, exceto no mês de julho, pois houve reposição de água em função de uma pequena quantidade de chuva que ocorreu.

Este trabalho de avaliação dos parâmetros hídricos do solo teve sua coleta de dados no ano de 2010. Para demonstrar os resultados encontrados na coleta de dados pelo método gravimétrico e dos tensiômetros, nos baseamos no balanço hídrico climatológico do período de 2005 a 2010 para a divisão dos períodos de seca e chuva.

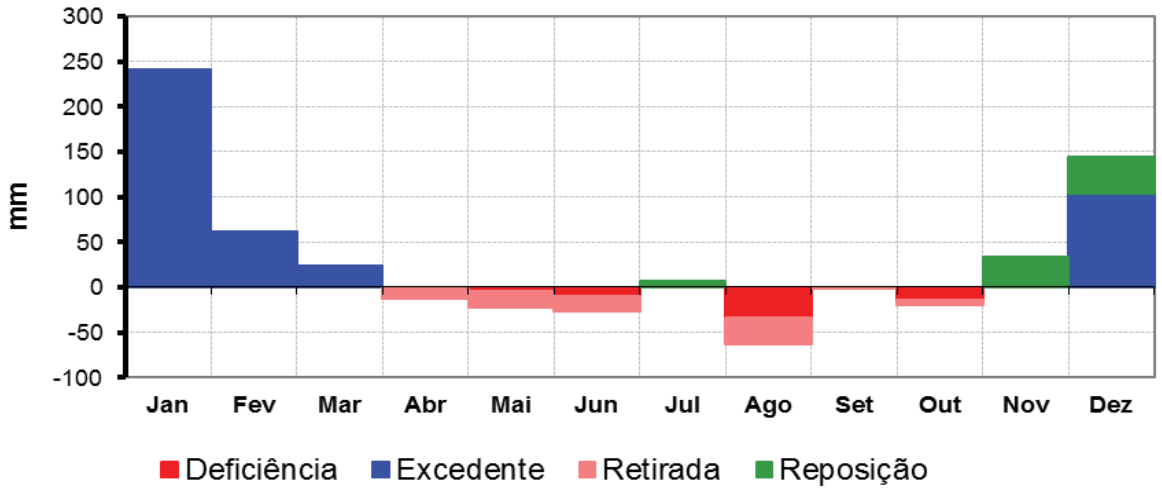

Figura 7. Balanço hídrico climatológico do Município de Botucatu-SP no ano de 2010.

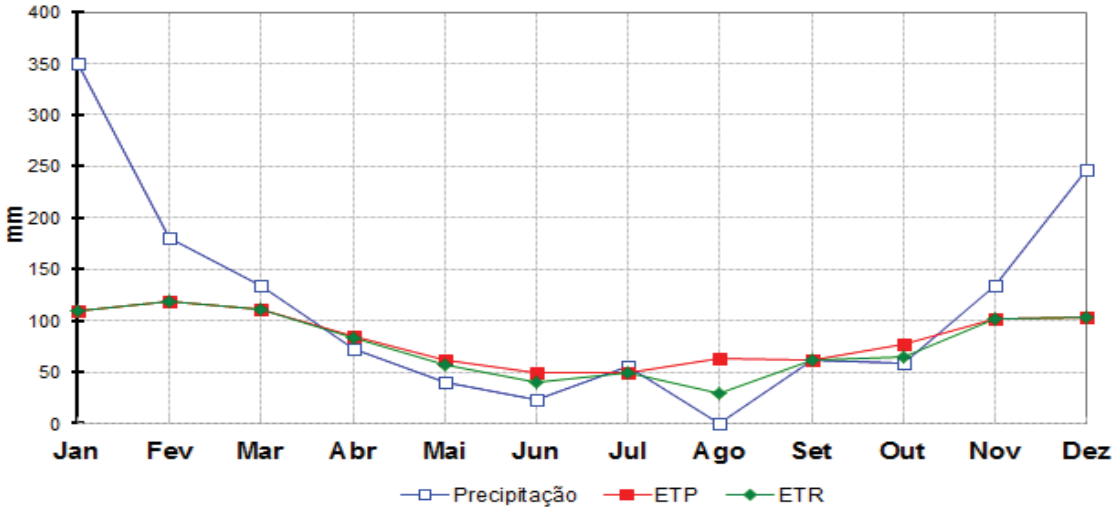

Figura 8. Balanço hídrico normal mensal do Município de Botucatu-SP no ano de 2010.

6.3 Avaliação do potencial matricial em função dos diferentes espaçamentos e profundidades

Nota-se nas Figuras 9 e 10, que na época chuvosa, há tendência de menores tensões no espaçamento maior, ou seja, maior quantidade de água no solo quando há menor quantidade de árvores. Também, pode ser visualizado no espaçamento menos adensado que a água é disponibilizada com menor velocidade que o espaçamento mais adensado.

Na época da seca, representada pelos meses de maio a setembro (Figuras 11 e 12), as tensões foram maiores, dificultando as leituras pelo método do tensiômetro, conforme observado também por Joaquim Junior (2003), concluindo em seu estudo que em períodos de baixa umidade do solo é recomendado utilizar outras técnicas de medição como a TDR, a qual apresentou maior sensibilidade que os tensiômetros, na detecção de mudanças na umidade do solo.

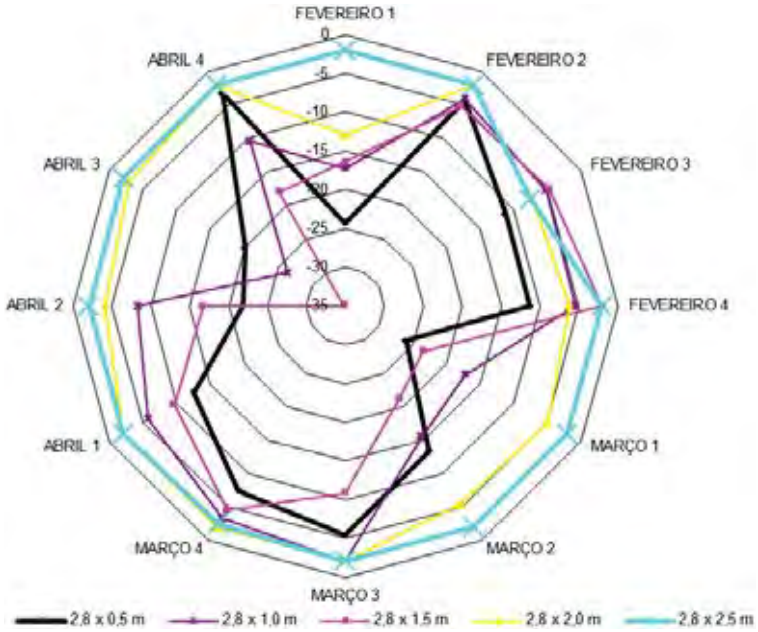

Figura 9. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro, março e abril.

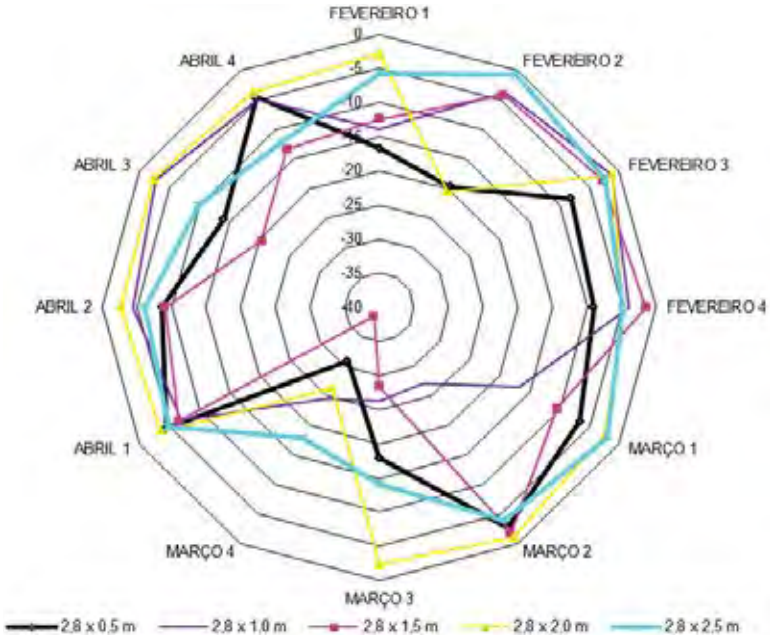

Figura 10. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro, março e abril.

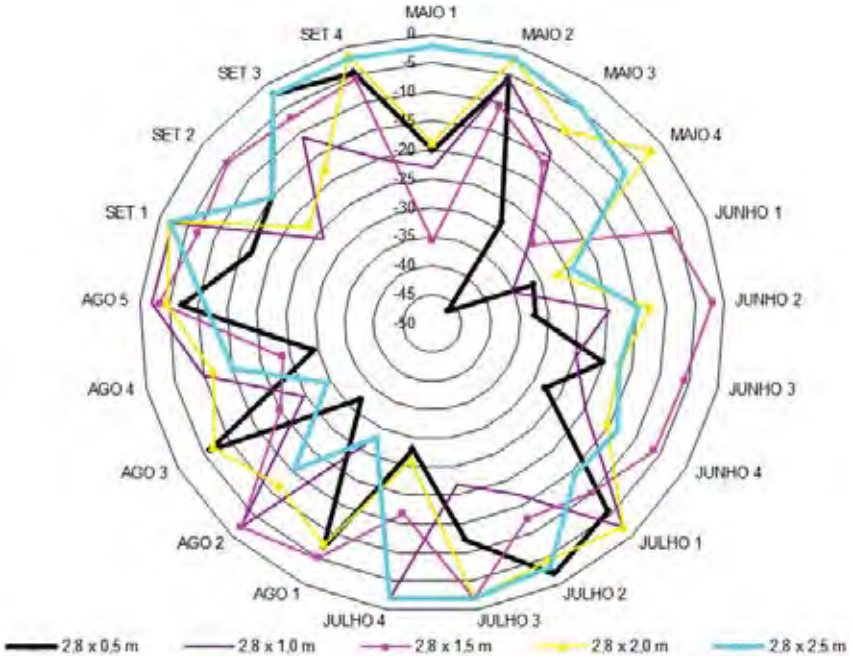

Figura 11. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período seco, representado pelos meses de maio a setembro.

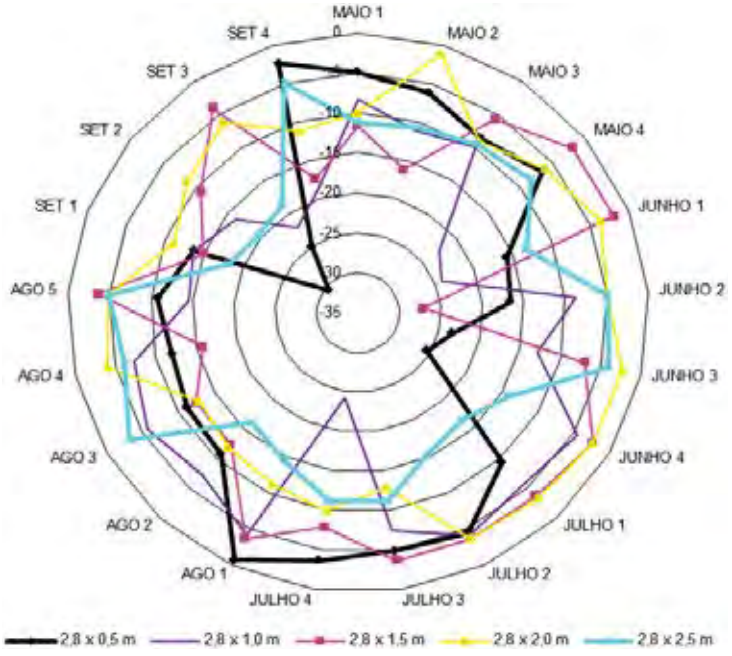

Figura 12. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período seco, representado pelos meses de maio a setembro.

Nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro observou-se novamente que o espaçamento menos adensado possui as menores tensões, ou seja, maior disponibilidade de água no solo.

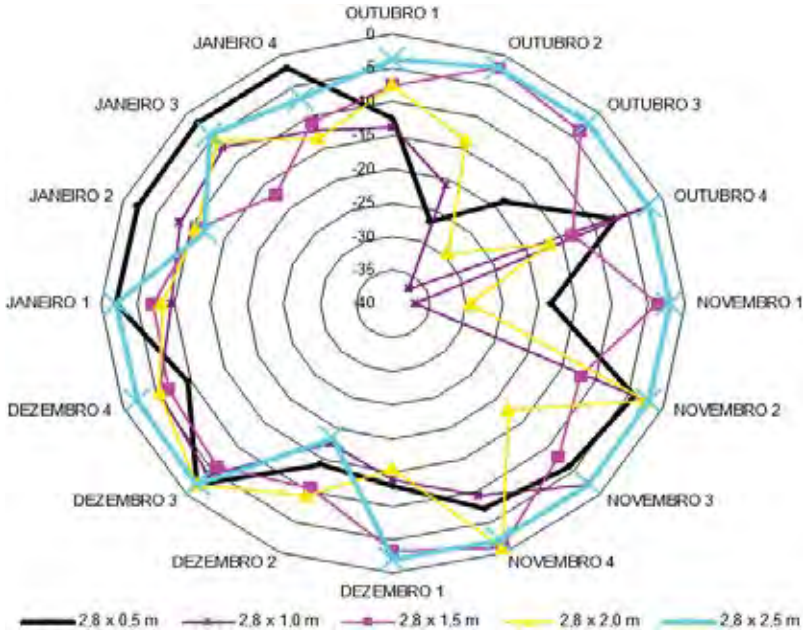

Figura 13. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, representado pelos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

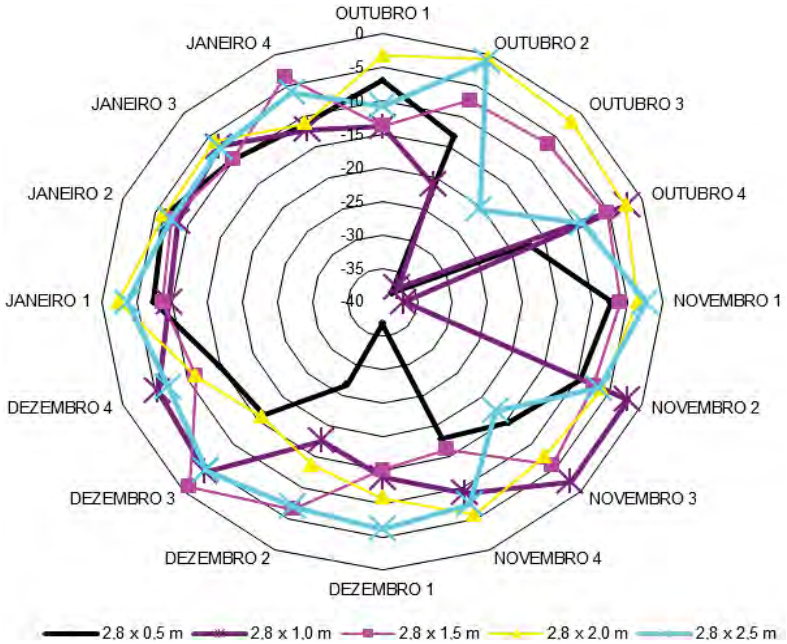

Figura 14. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) a 0,90 m de profundidade, no período seco, representado pelos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

Leite et al. (1999) em um estudo das relações hídricas em povoamentos de eucalipto com diferentes densidades populacionais em Minas Gerais também identificou uma tendência de aumento da umidade do solo com a redução da população de plantas.

Analisando a Figura 15, é possível observar uma tendência de maior quantidade de água no solo no espaçamento 2,8 x 2,5 m, ou seja, menores tensões durante todo o ano. No espaçamento 2,8 x 0,5 m ocorrem as maiores tensões e a menor quantidade de água no solo. Também, observa-se que no espaçamento mais adensado ocorrem picos, podendo ser explicados pela absorção de água pelo solo, por possuir maior quantidade de árvores.

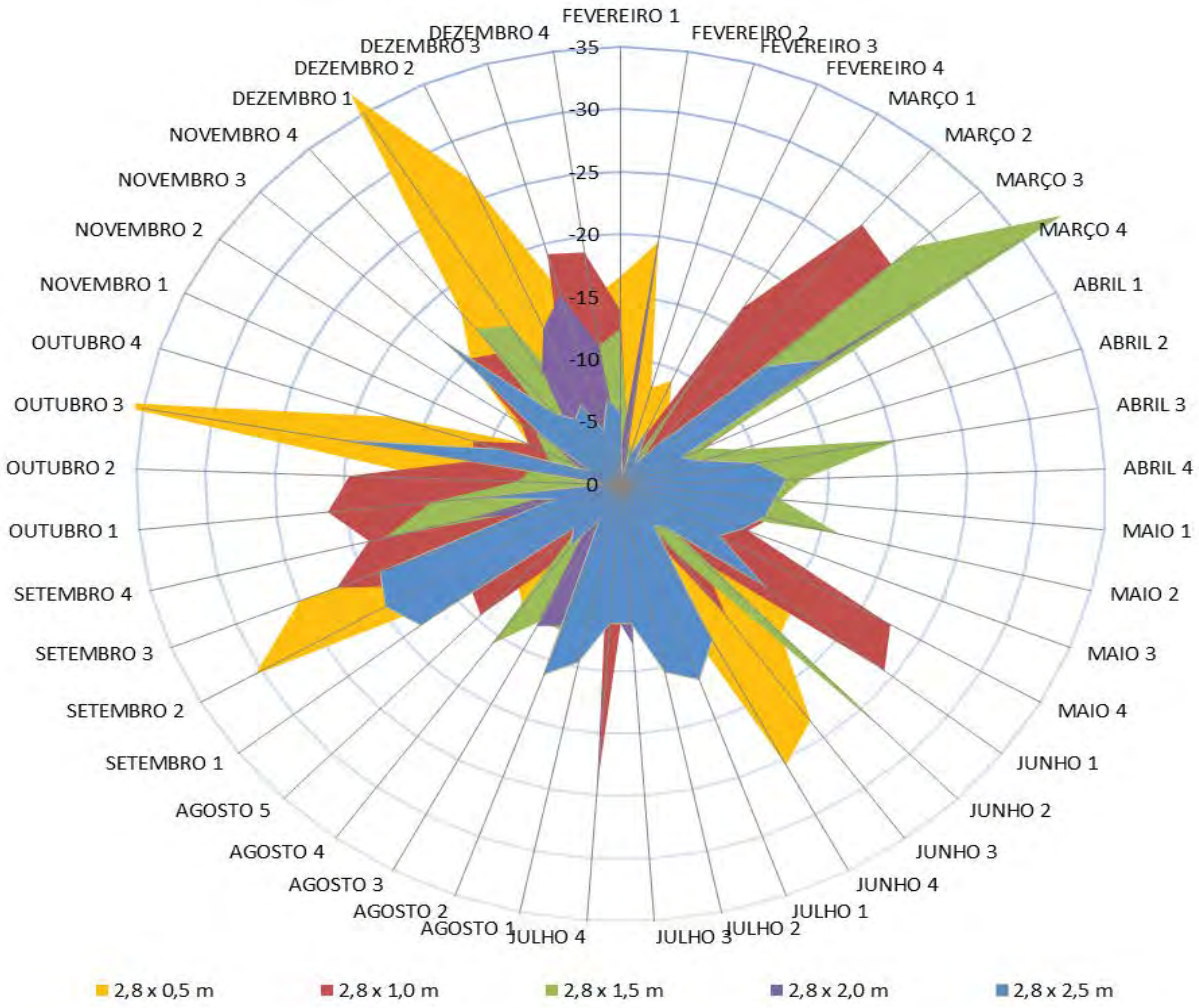

Figura 15. Resultado da leitura semanal dos tensiômetros (em KPa) representando todo o período de coleta de dados.

6.4 Avaliação da umidade do solo

Nas Figuras 16 e 17, nota-se que no período de julho a setembro, não houve diferença de umidade do solo em relação às duas profundidades estudadas, ou seja, até 90 cm de profundidade, não houve variação de umidade, sendo a mínima e máxima de 8 e 18%, respectivamente.

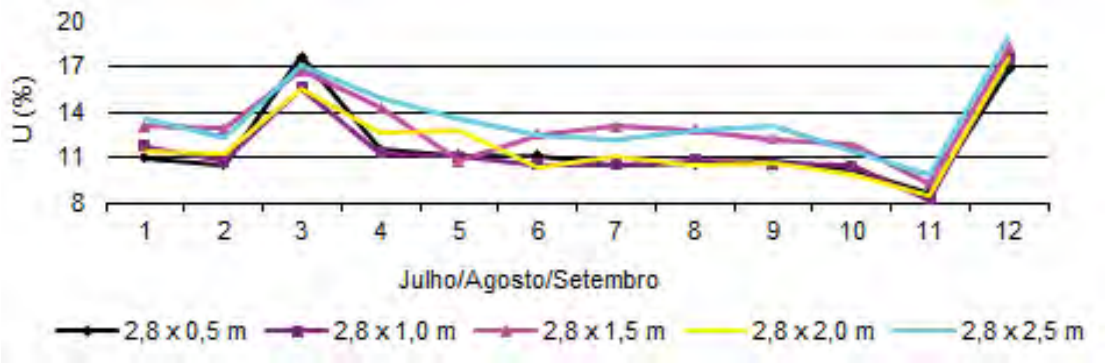

Figura 16. Umidade do solo coletada semanalmente a 0,30 m de profundidade, no período seco, nos diferentes espaçamentos.

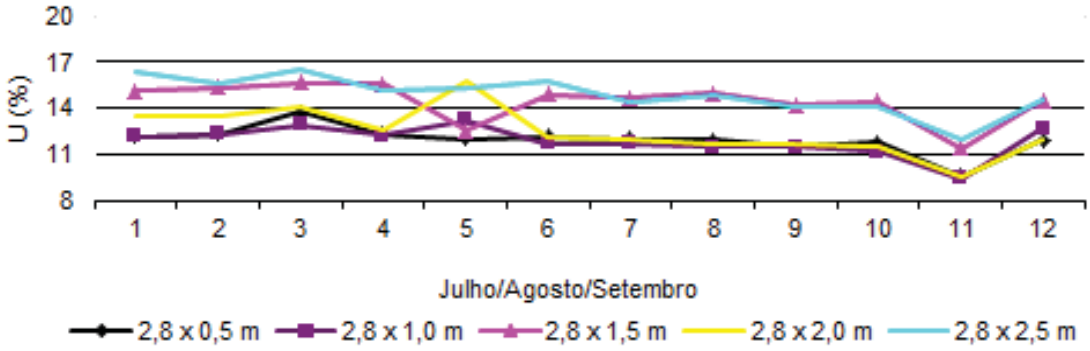

Figura 17. Umidade do solo coletada semanalmente a 0,90 m de profundidade, no período seco, nos diferentes espaçamentos.

No período de outubro a janeiro, período de chuva, os teores de umidade do solo variaram de 10 a 36%, para as duas profundidades, indicando maior teor de água no solo. Porém, os resultados obtidos indicam mesma tendência ou mesmo comportamento do ocorrido no período de seca, ou seja, não houve variação de umidade no solo em relação às profundidades estudadas (Figuras 18 e 19).

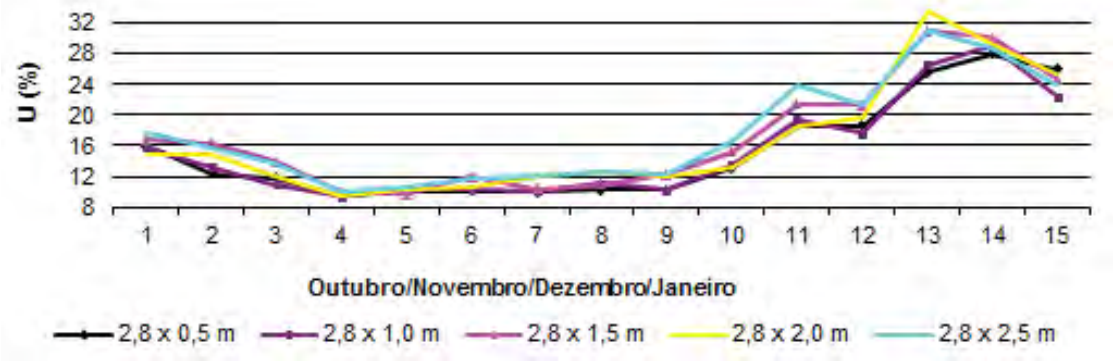

Figura 18. Umidade do solo coletada semanalmente a 0,30 m de profundidade, no período chuvoso, nos diferentes espaçamentos.

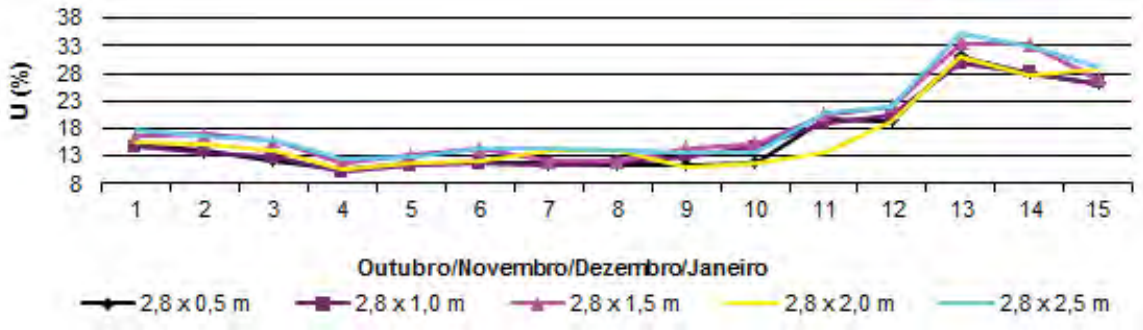

Figura 19. Umidade do solo coletada semanalmente a 0,90 m de profundidade, no período chuvoso, nos diferentes espaçamentos.

A variação da água no solo ao longo do período acompanhou o comportamento da precipitação pluvial observada neste período. Esta variação não é diferente no solo sob diferentes populações de plantas. Tal comportamento foi observado por Leite et al. (1999). Gomes (1994), também estudando as relações hídricas de eucalipto, ao longo de um ano, envolvendo as estações seca e chuvosa, concluiu que em cada época de coleta, a umidade do solo não variou com a profundidade do solo e entre as diferentes densidades populacionais, possivelmente, em razão do baixo nível de competição entre as plantas.

Os maiores valores de umidade do solo foram encontrados para o maior espaçamento (2,8 x 2,5 metros) sendo que os menores valores ocorreram no menor espaçamento (2,8 x 0,5 metros), tanto para o período seco quanto o chuvoso. Esta tendência

pode ser explicada pela relação entre número de indivíduos por área e quantidade de água absorvida, pois quanto maior o espaçamento, menor a quantidade de árvores por hectare, maior a competição por água e nutrientes. Estudos de Garcia (2010) e Oliveira Neto et al. (2010) comprovaram que o espaçamento influencia na disponibilidade de nutrientes e de recursos de crescimento da planta.

6.5 Avaliação do crescimento da floresta

Observa-se na tabela abaixo os valores do volume com casca médio ($m^3.ha^{-1}$) obtidos em dezembro de 2009 e dezembro de 2010 em função dos espaçamentos A, B, C, D e E (Tabela 1).

Tabela 1. Volume médio com casca ($m^3.árvore^{-1}$) de acordo com os espaçamentos em dezembro de 2009 e dezembro de 2010.

Espaçamento (m)	**Vcc ($m^3.árvore^{-1}$) - 2009**	**Vcc ($m^3.árvore^{-1}$) - 2010**
2,8 x 0,5 (A)	0,00916	0,02346
2,8 x 1,0 (B)	0,01283	0,04012
2,8 x 1,5 (C)	0,01220	0,04332
2,8 x 2,0 (D)	0,01746	0,06322
2,8 x 2,5 (E)	0,01049	0,06125

A partir dos dados do volume com casca de 2009 e 2010, calculou-se o incremento médio anual da floresta ($m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$) como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Volume médio com casca ($m^3.ha^{-1}$) em função dos espaçamentos em dezembro de 2009 e dezembro de 2010.

Espaçamento (m)	**Vcc ($m^3.ha^{-1}$) - 2009**	**Vcc ($m^3.ha^{-1}$) - 2010**	**IMA ($m^3.ha^{-1}$) período**
2,8 x 0,5 (A)	65	167	102
2,8 x 1,0 (B)	45	143	98
2,8 x 1,5 (C)	29	103	74
2,8 x 2,0 (D)	31	112	81
2,8 x 2,5 (E)	15	87	72

Houve decréscimo no volume com casca em função do aumento do espaçamento também encontrado no trabalho de Garcia (2010) onde os menores espaçamentos produziram mais volume de madeira com casca, no entanto, segundo o autor é necessário ponderar esta produção com adequações no ciclo de corte, especialmente nos espaçamentos (2,8 x 0,5 m, 2,8 x 1,0 m e 2,8 x 1,5 m). Leles et al. (2001) também verificou que ocorre um contínuo decréscimo da produção de madeira de espécies de eucalipto com o aumento do espaçamento.

Observou-se o maior desenvolvimento em altura das árvores encontradas no espaçamento mais adensado. E o maior desenvolvimento radial das árvores foi encontrado no espaçamento menos adensado. Esta tendência também foi observada por Sousa (1989) e Balloni e Simões (1980).

7 CONCLUSÕES

- A redução na densidade populacional tende a maior disponibilidade de água no solo;
- No espaçamento com maior quantidade de árvores observou-se maior competição por água e nutrientes, portanto a perda de água é mais rápida;
- Os maiores teores de água foram encontrados no maior espaçamento (2,8 x 2,5 m) tanto na época chuvosa quanto na época seca;
- Quanto maior o espaçamento, maior a quantidade de água no solo, maior é a disponibilidade de água no solo;
- As plantas do espaçamento mais adensado (2,8 x 0,5 m) possuem menor volume individual.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1989. 300 p.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Análise da influência da variabilidade hidrometeorológica interanual no crescimento de plantações de eucalipto. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v. 4, p. 52-61.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore,** Viçosa, MG; v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ASHTON, D. H. The root and shoot development of *Eucalyptus regnans* F. Muell: The species and its frost resistance. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 23, p. 867-887, 1975.

AUSSENAC, G. The actual evapotranspiration of four forests stands in the east of France. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 29, n. 3, p. 369-89, 1972.

BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n.3, p. 1-16, 1980.

BATISTA, W. R. **Avaliação das técnicas TDR e moderação de nêutrons, na determinação do teor de água em diferentes classificações de solo.** 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

BELL, F. C.; GATENBY, M. T. Effects of exotic softwood afforestation on water yield. **Water Research Foundation of Australian Bulletin**, New South Wales, n. 15, p. 1-93, 1969.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 596 p.

CALDER, I. R. Forests and water: ensuring forest benefits outweigh water costs**. Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, p. 110-120, 2007.

CARVALHO, H. de P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura do café.** 2008. 123 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

COUTO, L.; DUBÉ, F. The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21st century: a review. **The Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 77, n. 5, p. 817-30, 2001.

CRUZ, A. C. R. et al. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 1-10, jan./fev. 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas.** Campina Grande: FAO, 1997. 204 p. (FAO irrigação e drenagem, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento de Solo. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília, DF, 1993. 204 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo. **Manual de métodos de analises do solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247 p.

GARCIA, E. A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando a colheita precoce para utilização em bioenergia.** 2010. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GHERARDI, B. **Caracterização espacial e temporal de parâmetros climáticos no Estado de Mato Grosso.** 2008. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de Eucalyptus spp**. na região de cerrado de Minas Gerais. 1994. 85 p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

HARR, R. D.; PRICE, K. R. Evapotranspiration from a greasewood cheatgrass community. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 8, n. 5, p. 1199-1203, 1972.

HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. Design criteria for interception studies. **International Association Science Hydrology,** Amsterdam, v. 67, p. 131-137, 1965.

HERMANN, P. S. P. **Construção de equipamento de medida de umidade do solo através da técnica de reflectometria no domínio do tempo.** 1993. 81 p. Dissertação (Mestrado em Física)-Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

HIGNETT, C. T. Factors affecting the selecting of a soil water sensing technology. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Comparison of soil water measurement using the neutron scattering, time domain reflectometry and capacitance methods.** Viena, 2000. p. 51-64.

INCOLL, W. D. Root system investigation in stand of *Eucalyptus regnans*. **Forestry Technical Paper,** Melbourne, n. 27, p. 13-32, 1979.

JOAQUIM JUNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo.** 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

LEITE, F. P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais**. 1996. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

LEITE, F. P. et al. Regime hídrico do solo sob povoamento de eucalipto, floreta nativa e pastagem, na região de Guanhães – MG**. Revista Árvore,** Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 455-62, 1997.

LEITE, F. P. et al. Relações hídricas em povoamentos de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 9-16, 1999.

LELES, P. S. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus calmadulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de Cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: O autor, 2000. 509 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: EdUSP, 2005. 335 p.

LIMA, W. P. **Estudo de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço hídrico em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus*.** 1975. 111 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

LIMA, W. P.; FREIRE, O. Evapotranspiração em plantações de eucalipto e de pinheiro, e em vegetação herbácea natural. **IPEF**, Piracicaba, n. 12, p. 103-117, jun.1976.

LIMA, W. P**. Impactos ambientais do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EdUSP, 1996. 301 p.

LIMA, W. P. Planted forests and water impacts: cross-scale analysis through hyfrological indicators. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 22., 2005, Brisbane. **The international forestry review.** Canberra: Commonwealth Forestry Association, 2005. v. 7, p. 758-764.

LIMA, W. P. **A silvicultura e a água**: ciência, dogmas, desafios. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2010. 64 p. (Diálogo florestal. Cadernos do diálogo, v. 1).

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. In: WORKSHOP SOBRE MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ÁREAS FLORESTADAS**,** 1., Piracicaba, 1996. **Memória...** Piracicaba: IPEF, 1996. 9 p.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MELO, V. P. et al. Atributos físicos de Latossolos adubados com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 67-72, jan. 2004.

MIELKE, M. S. et al. Leaf gas Exchange in a clonal eucalypt plantation as related to soil moisture, leaf water potential and microclimate variables. **Trees**, Santa Monica, v. 14, p. 263-270, 2000.

MOURA, V. V. P. S. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotécnica,** Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, jul./ago. 2005.

OR, D.; WRAITH, J. M. Soil water content and water potential relationships. In: SUMMER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. P. 49-83.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus calmadulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de Cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 755-762, out./dez. 2010.

PECK, A. J.; WILLIAMSON, D. R. Effects of Forest clearing on groundwater. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 94, p. 47-65, 1987.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. C.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

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

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo.** Santa Maria, RS: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18 p.

ROLIM, G.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, p. 133-137, 1998.

SAAD, J. C. C**. Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referencia e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação.** 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SACRAMENTO NETO, O. B. **O balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na Região de Belo Horizonte – MG**. 2001. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SALOMÃO, L. C. et al. **Manual de irrigação**: um guia prático para o uso racional da água. Botucatu : FEPAF, 2009. 134 p.

SANDS, R.; MULLIGAN, D. R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 91-111, 1990.

SCHMUGGE, T. J.; JACKSON, T. J.; MCKIM, H. L. Survey of methods for soil moisture determination. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 16, n. 16, p. 961-979, 1980.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 253, p. 130-147, 2001.

SOUZA, M. H. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.

SOUSA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de Eucalyptus grandis.** 1989. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1989.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantation in northeastern Brazil**. 2002. 225 p. Thesis (Post Doctoral Repost)-Colorado University, Fort Collins, 2002.

TALSMA, T.; GARDNER, E. A. Soil water extraction by a mixed eucalypt Forest during a drought period. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourn, v. 24, p. 25-32, 1986.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG; v.29, p. 161-168, 2005.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. v. 8, 104 p.

TOMAS, A. Climatic changes in yield index and soil water trends in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 102, p. 71-81, 2000.

TONELLO, K. C. et al. Precipitação efetiva em plantios de Pinus. **Revista da Madeira**, v. 83, p. 118-121, 2004.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 305-314, abr./jun. 2002.

FAO. **FAO forestry paper**. Rome, 2005. 147 p.

VANCLAY, J. K. Managing water use from forest plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 257, p. 385-389, 2009.

VOSE, J. M.; SWANK, W. T. Effect of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern Appalachians. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 25-39, 1994.

WAGNER, W. et al. Sustainable watershed management: an international multi-watershed case study. **Ambio**, Stockholm, v. 31, p. 2-13, 2002.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 113-140, 2004.

WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F. M. A canopy water balance model for a Pinus radiate stand before and after thinning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 55, p. 109-126, 1991.

ZALEWSKI, M. Ecohydrology: the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 16, p. 1-8, 2000.