

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

**MONITORAMENTO DA ÁGUA DO SOLO EM  
PLANTIO DE *Eucalyptus* spp.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Neiva Somavilla Gelain**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

**MONITORAMENTO DA ÁGUA DO SOLO EM PLANTIO DE**  
***Eucalyptus* spp.**

**Neiva Somavilla Gelain**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Prof. Dalvan José Reinert**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

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

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

**MONITORAMENTO DA ÁGUA DO SOLO EM PLANTIO DE  
*Eucalyptus* spp.**

elaborada por  
**Neiva Somavila Gelain**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Dalvan José Reinert, PhD.**  
(Presidente/Orientador)

**Douglas Rodrigo Kaiser, Dr. (UFSS)**

**Frederico Dimas Fleig, Dr. (UFSM)**

**Santa Maria, 02 de julho de 2012.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e ao Departamento de Solos pela oportunidade de realização do curso de mestrado e deste trabalho.

A Capes e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos, o que tornou possível a realização do curso de Pós-Graduação.

Ao professor Dalvan pela orientação, confiança e ensinamentos.

Ao professor Frederico pela ajuda e ensinamentos na execução do trabalho.

À StoraEnso pela disponibilização da área.

Ao Flávio Fontinelli pela ajuda na realização do trabalho.

Aos membros da comissão examinadora pelas contribuições ao trabalho.

A todos os colegas e amigos do grupo da Física do Solo, especialmente àqueles que auxiliaram na execução deste trabalho: Paulo, Sérgio, Júlio, Elói, Rafael Goulart, Bernardo, Eracilda, Suzana, Jean, Cedinara, Juliana, Marton e Márcia.

A minha família, principalmente a minha mãe, Udila Gelain, que sempre foi minha maior inspiração e sempre fonte de absoluto apoio.

Ao meu namorado, Luis Fernando, pelo incentivo, apoio e paciência em meus momentos de ausência.

Aos meus queridos amigos: Rô, Jardel, Gica, Jana, Kelen, Catarine, Jéssica e Elis, agradeço pelo apoio e incentivo de sempre, e também pelas jantas de quinta.

À Deus por guiar meus passos.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e do curso de mestrado, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MONITORAMENTO DA ÁGUA DO SOLO EM PLANTIO DE *Eucalyptus* spp.**

AUTORA: NEIVA SOMAVILLA GELAIN  
ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 02 de Agosto de 2012.

A crescente demanda por produtos florestais tem propiciado o aumento das áreas com florestas plantadas no Brasil. O eucalipto é uma espécie florestal de rápido crescimento e é cultivada em larga escala, porém ainda é um assunto que provoca polêmicas sobre o efeito na dinâmica da água do solo onde são implantados. Por isso, este estudo teve como objetivo monitorar do uso da água por povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sob diferentes densidades populacionais em solo arenoso. O trabalho foi realizado a partir da instalação de um experimento implantado com *Eucalyptus dunnii* Maiden em campo nativo, nos espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75; 1,75X1,75 e 1,75X0,87 metros, em um Argissolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Para as medidas de umidade do solo a campo foi utilizada a técnica da reflectometria de domínio do tempo (TDR). Para isso, foram instalados na área dois equipamentos TDR-100 fabricado pela Campbell. Sondas metálicas com haste dupla de 20 cm de comprimento foram instaladas horizontalmente a cada 30 cm de profundidade, por meio de abertura de trincheiras com 2,10m de profundidade em cada parcela, compondo sete camadas por trincheira. A umidade do solo foi monitorada continuamente no período de novembro/2011 a maio/2012. Além disso, foram realizadas avaliações dendrométricas, como altura total e DAP (1,30 m). Estas avaliações foram realizadas aos 36 e 42 meses de idade. Nos períodos avaliados, as medidas de umidade feitas pelo TDR foram bastante sensíveis as mudanças do conteúdo de água do solo, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. Porém, em grande parte do período de monitoramento houveram pouquíssimos eventos de precipitação, o que ocasionou em medidas de baixos conteúdos de água no solo, resultando também em déficit no crescimento.

**Palavras-chave:** eucalipto, conteúdo de água do solo, espaçamento de plantio.

## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MONITORING SOIL WATER IN PLANTING *Eucalyptus* spp.**

AUTHOR: NEIVA SOMAVILLA GELAIN

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

Place and Date of Defense: Santa Maria, August 02, 2012.

The growing demand for forest products has allowed the increase in areas planted forests in Brazil. Eucalyptus is a fast growing tree species and is cultivated on a large scale, but still is a subject that causes controversy about the effect on the dynamics of soil water where they are deployed. Therefore, this study aimed to monitor water use by *Eucalyptus dunnii* Maiden settlement under different population densities in sandy soil. The study was conducted from the installation of an experiment implemented with *Eucalyptus dunnii* Maiden in native grass, at spaced 3.50 X3, 50, 3.50 X1, 75, 1.75 X1, X0 75 and 1.75, 87 meters in an Alfisol (Red Yellow Podzolic). The experimental design was a complete randomized block with three replicates. To measure the soil moisture to field technique was used in the time domain reflectometry (TDR). Thus, we installed two units in the TDR-100 manufactured by Campbell. Probes with metal double rod 20 cm long were installed horizontally every 30 inches deep, by means of trenching 2.10 meter depth in each plot, comprising seven layers trench. Soil moisture was monitored continuously in the period november/2011 at may/2012. In addition, assessments were made dendrometrical as total height and DBH (1.30 m). These evaluations were performed at 36 and 42 months of age. In periods, the measures taken by TDR moisture was very sensitive to changes in water content of soil, mainly in the superficial layers of the soil. However, much of the monitoring period there were very few precipitation events, which resulted in measures of low soil water content will also result in stunted growth.

**Key-words:** Eucalyptus, water content of the soil, plant spacing.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Caracterização granulométrica das camadas do Argissolo Vermelho distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil. 35
- Tabela 2 – Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após um ano da implantação em São Francisco de Assis, RS, Brasil. 36
- Tabela 3 – Porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil. 36
- Tabela 4 – Dados dendrométricos medidos aos 36 e 42 meses em eucalipto. 47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.	26
Figura 2 – Vegetação potencial do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	27
Figura 3 – Conjunto de equipamentos TDR-100 (a); disposição da instalação das sondas nas trincheiras (b).	30
Figura 4 - Coluna de PVC com as hastes das sondas inseridas na amostra (a) e leituras da $K_a$ sendo feitas utilizando o TDR-100 (b).	31
Figura 5 – Curva de calibração do solo para a camada arenosa.	32
Figura 6 – Curva de calibração do solo para a camada argilosa.	33
Figura 7 – Precipitação ocorrida na área experimental, durante o período de monitoramento da umidade.	34
Figura 8 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de novembro e dezembro do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m.	38
FIGURA 9 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de novembro e dezembro do ano de 2011: C) 0,60-0,90m; D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.	38
Figura 10 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-0,90m.	41
Figura 11 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.	42
Figura 12 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente	43



aos meses de março e abril do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-0,90m.

Figura 13 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, 44  
referente aos meses de março e abril do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E)  
1,20-2,10m.

Figura 14 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente 45  
ao mês de maio do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-  
0,90m.

Figura 15 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, 46  
referente ao mês de maio do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	10
2 OBJETIVOS GERAIS.....	13
3 HIPÓTESE .....	13
4 REVISÃO DE LITERATURA .....	14
4.1 Gênero <i>Eucalyptus</i> .....	14
4.2 Espaçamento .....	15
4.3 Uso da água pelo Eucalipto .....	17
4.4 Quantificação de água no solo.....	19
4.4.1 Métodos indiretos para determinação do conteúdo de água no solo	20
4.4.2 Propriedades dielétricas do solo e a determinação da umidade.....	22
4.4.3 Utilização do TDR para medir água no solo .....	23
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
5.1 Caracterização da área.....	26
5.2 Vegetação natural.....	27
5.3 Determinações.....	28
5.3.1 Análise física do solo .....	28
5.3.2 Medidas de precipitação e avaliações dendrométricas.....	29
5.3.3 Umidade do solo.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
7 CONCLUSÃO .....	48
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos madeireiros no mercado consumidor nacional e internacional requer produção legal e constante de madeira, de forma que áreas florestais nativas sejam preservadas e a necessidade do consumidor suprida. O gênero *Eucalyptus* é uma alternativa viável para atender a esta demanda, pois apresenta rápido retorno e alta produtividade com custos reduzidos (VELLINI, 2007).

No Brasil, a expansão de plantações de eucalipto têm se dado em áreas com grandes limitações ao desenvolvimento vegetal como solos com altos teores de alumínio, baixa fertilidade natural e baixa disponibilidade hídrica, dentre outros, enquanto que solos mais férteis são usados com culturas agrícolas.

A deficiência hídrica no solo juntamente com alta temperatura e radiação tem sido citada como uma das principais restrições à sobrevivência e produtividade agrônômica e florestal (FLEXAS et al., 2002). Então, o entendimento dos efeitos da deficiência hídrica nas plantas é vital para a melhoria de práticas de manejo e melhoramento agrícola e florestal (CHAVES et al., 2003).

Para Nepomuceno et al. (2001) o déficit hídrico, como fator limitante da produção vegetal, ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. A disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas por causa da interação entre abertura estomática e produção de matéria seca. A falta de fotoassimilados influencia, indiretamente, a absorção de nutrientes que, em sua grande maioria, depende da incorporação ativa. O fechamento estomático com seus efeitos colaterais, apesar de equilibrar o balanço hídrico, afeta diretamente a produção (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Solos de texturas diferentes divergem quanto à capacidade de retenção de água (SOUZA, 1999), de forma que os de textura fina retêm mais água do que os de textura grosseira. E muitos plantios de eucalipto estão sendo feitos em áreas em que os solos têm textura mais grosseira. Devido a isso o estresse hídrico pode ocorrer com maior frequência, principalmente em plantios mais adensados.

Nesse contexto, para o monitoramento da quantidade de água disponível no solo às culturas é essencial a utilização de métodos e instrumentos eficientes para a determinação da umidade (GARZELLA; MOLIN, 2004).

O uso da instrumentação voltada para a obtenção de informações sobre o sistema água-solo é muito importante. Um método de estimativa ideal da água do solo deve basear-se numa propriedade física dependente apenas do seu conteúdo, produzindo uma resposta direta, rápida e confiável (LACERDA et al, 2005).

A medida da umidade do solo expressa, de forma quantitativa, o conteúdo de água que este apresenta, em um dado momento. Existem vários métodos para se determinar a umidade do solo, cada um apresentando vantagens e desvantagens. Os métodos de determinação de umidade no solo podem ser classificados em diretos e indiretos. O método gravimétrico pode ser realizado com a utilização de uma estufa ou um forno de microondas. Assim, como os demais métodos diretos, este é destrutivo, o que impede a repetição da medida da umidade no local. Os métodos indiretos são aqueles por meio dos quais se torna possível determinar a quantidade de água presente no solo utilizando-se medidas de características dos mesmos, relacionadas com a umidade. Esses métodos também apresentam algumas desvantagens, tais como a necessidade de calibração que, na maioria das vezes, pode ser influenciada por características do solo e por variações decorrentes do próprio meio ambiente. Pode-se identificar, no entanto, diversas vantagens, como a determinação do valor medido em um menor tempo e a possibilidade de verificação posterior, por não ser um método destrutivo (TRINTINALHA et al, 2001). Entre os métodos indiretos, destacam-se o método que utiliza a sonda de nêutrons, o método de resistência elétrica, a tomografia computadorizada com raio X, a ressonância magnética, a tensiometria, a psicrometria e o método da reflectometria no domínio do tempo (*time domain reflectometry* - TDR).

A metodologia de uso do TDR foi desenvolvida, inicialmente, por Fellner-Feldegg (1969). Segundo esse autor, essa técnica consiste em se medir o tempo de percurso de um pulso eletromagnético (EM) ao longo de um caminho, constituído por uma sonda, que pode apresentar uma ou mais hastes metálicas, de comprimento conhecido, para a onda. Este tempo de percurso está relacionado com a constante dielétrica média ( $k$ ) do meio no qual a sonda guia é inserida.

A aplicação de reflectometria no domínio do tempo (TDR) para medir o conteúdo de água volumétrica in situ (no solo) vem sendo amplamente aceita.

Desde a sua introdução no início dos anos 1980 (TOPP et al, 1980), o TDR está entre as técnicas mais utilizadas de medição da umidade do solo em laboratório e no campo. As vantagens do uso do TDR incluem o seu pequeno volume de medição, a sua relativa facilidade de operação, e a sua capacidade para ser automatizado e multiplicado em níveis, quando comparado com sonda de nêutrons ou técnicas gravimétricas.

Além disso, tem sido demonstrado que uma curva de calibração única pode ser utilizada para a maioria dos tipos de solo minerais, eliminando a necessidade de uma calibração específica para cada solo (TOPP et al, 1980). Para a estimativa da umidade do solo no campo, o TDR e técnicas de dielétricos são frequentemente preferidos sobre medidas com sonda de nêutrons, devido aos recursos de automatização e ao fato de que os regulamentos e os requisitos especiais de manipulação que vêm com o uso de fontes radioativas não são necessários.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Monitorar o uso da água por povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sob diferentes densidades populacionais em solo arenoso.

## **3 HIPÓTESE**

O aumento da população de plantas de eucalipto em solos com baixa retenção de água, como os solos arenosos, pode ser um fator que antecipa o déficit hídrico nas plantas em períodos de pouca precipitação, comprometendo a produção. Por tudo isso, populações mais densas de Eucalipto extraem água do solo a taxas mais elevadas.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Gênero *Eucalyptus*

A introdução da cultura do eucalipto em projetos de reflorestamento teve início em 1904, pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, para ser usado como dormentes, postes e lenha (MORA; GARCIA, 2000). De 1909 até 1966, haviam sido plantados somente 470.000 hectares de eucalipto em todo o Brasil, sendo 80 % em áreas do Estado de São Paulo. Em 1966, uma intensa política de incentivos fiscais para o reflorestamento (que perdurou por 24 anos), voltadas para as grandes indústrias siderúrgicas e de papel e celulose das regiões Sul e Sudeste do Brasil, alavancou o plantio de eucalipto em larga escala no Brasil. De acordo com a FAO (1981), em 1973 o Brasil já era o maior produtor mundial em extensão de áreas plantadas com eucalipto, com mais de 1 milhão de hectares e, na mesma época, as plantações mundiais de eucalipto eram de apenas 4 milhões de hectares.

Dentre as inúmeras espécies arbóreas existentes, o eucalipto tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais por apresentar rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e por ter aplicação para diversas finalidades. Além disso, as condições climáticas favoráveis e a capacidade tecnológica das empresas responsáveis pela silvicultura nacional, tem tornado o setor florestal brasileiro bastante significativo, ocupando hoje posição de destaque na produção e exportação de produtos de base florestal a partir de plantações de eucalipto (ABRAF, 2012).

O gênero *Eucalyptus*, devido à diversidade de espécies, possui uma ampla gama de adaptação edafoclimática, podendo ser encontradas espécies que se adaptem bem em climas com temperaturas que vão de 18°C negativos até 35°C positivos e em diversos tipos de solos, desde arenosos e secos até solos hidromórficos (SILVA, 2001).

Desde os primeiros plantios de florestas de eucalipto no Brasil, o gênero tem sido alvo de questionamentos e estudos a respeito do seu efeito no ambiente natural, principalmente em relação às características do solo. De acordo com Lima

(1996), as principais preocupações nesses estudos referem-se às possíveis alterações proporcionadas ao solo pela decomposição da serapilheira e pelo consumo de água pelos povoamentos florestais homogêneos formados com o gênero.

As propriedades do solo sofrem algumas modificações de acordo com o seu uso e manejo (SUZUKI, 2008), modificações estas, que podem ser benéficas ou não. Tais modificações se refletem, principalmente, na estrutura. A cobertura florestal sobre um solo pode causar mudanças nas suas propriedades, especialmente pelo grau de proteção oferecido contra a erosão, pela capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida, que é gradualmente incorporada, aumentando o estoque de carbono orgânico (BRUN, 2008).

Muitas espécies de *Eucalyptus* crescem naturalmente em solos com estado nutricional baixo, porém possuem a capacidade de responder com aumento das taxas de crescimento em condições mais férteis e especialmente para níveis mais altos de nitrogênio e fósforo (TURNBULL; PRYOR, 1984). Segundo os autores, a maior importância do solo com relação à produtividade de eucalipto está relacionada com a profundidade do solo, pois poucas espécies produzem bem em solos muito rasos. Os sistemas florestais podem proporcionar benefícios às propriedades físicas do solo devido ao maior aporte de matéria orgânica. Desta forma, as utilizações de práticas de manejo que beneficiam o aumento da matéria orgânica são de extrema importância, pois, além de serem capazes de fixar o carbono, propiciam melhorias nas propriedades físicas. De acordo com Lima (1996), as plantações de eucalipto melhoram as condições físicas do solo em relação à matéria orgânica e à atividade biológica, resultando em melhoria simultânea da estrutura, aeração, capacidade de armazenamento e infiltração da água.

## **4.2 Espaçamento**

A definição do espaçamento é uma das questões mais importantes na implantação de plantios florestais, pois envolve considerações relacionadas aos objetivos destes plantios. Geralmente, a decisão de um espaçamento é definida



pelos objetivos econômicos da empresa, ou produtor florestal. Pryor (1967) considera que ao decidir sobre o espaçamento, o silvicultor está tomando uma das decisões mais difíceis, pois em muitas circunstâncias, essa decisão tem um grande efeito sobre o custo da matéria-prima produzida e sobre o contexto dos preços correntes, pela restrita oportunidade de manipulação do produto pelos desbastes praticados da maneira tradicional.

O espaçamento entre plantas em um sítio florestal deve ser determinado em função do grau de limitação da área, como disponibilidade de água e de nutrientes no solo. Além disso, a escolha do espaçamento também deve considerar a espécie, a qual apresenta diferentes comportamentos dependendo do local e o objetivo de produção, ou seja, o uso futuro da madeira a ser produzida (TONINI, 2003).

O espaçamento tem uma série de implicações silviculturais em povoamentos florestais, pois pode afetar as taxas de crescimentos das plantas, e ainda a qualidade da madeira, idade de corte e com isso modificar os custos de produção (BALLONI, 1980). Do ponto de vista silvicultural, os plantios com menor espaçamento atingem a capacidade de sítio mais rapidamente, com a diminuição das dimensões. Por isso é preciso se tomar toda precaução para selecionar o melhor espaçamento inicial. Admitindo que por necessidade de caráter tecnológico e social o manejo dos povoamentos de eucalipto tenha por objetivo a produção de madeira industrial, de rápido crescimento, porém, de baixa densidade, devendo ser alcançadas produções em rotações curtas, os espaçamentos mais amplos possíveis, sob determinadas condições, serão os mais apropriados. Assim, decisões precisas sobre espaçamentos e espécies não podem ser tomadas sempre sem um conhecimento mais preciso da influência dos mesmos nas qualidades dos produtos obtidos.

Pode-se atribuir o efeito da densidade populacional de plantas sobre o regime hídrico do solo, principalmente, às diferenças na quantidade de água transpirada e na interceptação de chuva pela copa. Outros fatores que também devem interferir e podem estar relacionados com a densidade populacional são a interceptação de água pela serrapilheira depositada na superfície do solo, a taxa de infiltração de água no solo, o escoamento superficial e o microclima dentro de cada povoamento. Com o conhecimento das variações de umidade no solo, é possível avaliar a influência das plantas sobre a disponibilidade de água, fazer inferências a respeito

da transpiração das plantas, determinar as regiões onde o sistema radicular atua de modo mais efetivo e outros efeitos da vegetação sobre a água do solo.

Orr (1968) citado por Lima (1979), por exemplo, verificou que o solo sob povoamento desbastado de pinheiro apresentava maior quantidade de água armazenada do que antes do desbaste.

Uma das maneiras utilizadas para aumentar o deflúvio é a redução da densidade populacional de árvores na área de captação. Com o desbaste, ocorre redução tanto na transpiração como na interceptação, sendo que esta redução na transpiração deve ocorrer na mesma proporção da redução da área foliar (STONEMAN; SCHOFIELD, 1989). Para Kramer (1983), essa proporcionalidade necessariamente não é observada e pode não levar à redução das taxas de transpiração, pois pode haver aumento da taxa de perda de água por unidade de superfície das folhas que permanecerem.

Gomes (1994), avaliando o efeito do espaçamento no crescimento e as relações hídricas de três espécies de eucalipto, entre 14 e 26 meses de idade, não detectou influência significativa do espaçamento na condutância estomática (gs). Entretanto, houve tendência de ocorrer maior condutância estomática e maior taxa de transpiração nas plantas sob espaçamentos mais amplos.

### **4.3 Uso da água pelo eucalipto**

As áreas reflorestadas com eucalipto, na maioria das vezes, estão estabelecidas principalmente em áreas onde os solos apresentam baixa fertilidade, baixa disponibilidade hídrica, estando sujeitos a longos períodos de déficit hídrico. Em geral, a temperatura, a insolação e a radiação solar não constituem impedimentos ao crescimento das plantas durante grande parte do ano (GOEDERT et al., 1980).

Algumas espécies de eucalipto podem suportar solos com elevada acidez (VALE, 1982), com baixa fertilidade (BARROS; NOVAIS, 1990) e regime hídrico irregular (GOMES, 1994). A adaptação de espécies de eucalipto em ambientes em que ocorre limitação da quantidade e/ ou, da distribuição de chuvas pode

comprometer a sobrevivência e o crescimento das plantas e, por isso, é preciso selecionar as espécies que apresentam mecanismos eficientes de uso da água e de nutrientes (JONES; WILKINS, 1971).

O eucalipto é uma árvore que possui um crescimento muito acelerado e por isso sua demanda por água pode ser maior, porém não diferindo muito de outras espécies florestais (LIMA, 1996). 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. Em outras palavras o acúmulo de biomassa promovido pelo eucalipto é mais rápido em relação a algumas espécies nativas. O eucalipto se desenvolve de três a cinco vezes mais rápido do que algumas árvores nativas, além de apresentar com um tronco bem mais retilíneo. Lima (1996) explicita ainda que a mesma responsabilidade que possui o eucalipto no consumo de água deve ser exigida dos grandes rebanhos bovinos, das plantações de soja e também de outras “mega monoculturas”.

Existem controvérsias sobre o real efeito do eucalipto em relação ao uso e a disponibilidade de água no solo onde são plantados (ALMEIDA; SOARES, 2003). Porém estudos mostram que o eucalipto não difere sistematicamente no consumo de água do que das demais culturas. A cana de açúcar apresenta um consumo de água de 100-2000 mm/ano, o café 800-1200 mm/ano, o citrus de 600-1200 mm/ano e o eucalipto de 800-1200 mm/ano. Quando se compara a geração de biomassa por litro de água utilizado, constata-se que o eucalipto é um dos mais eficientes produtores de biomassa. Essa eficiência na produção de biomassa faz com que o eucalipto cresça rapidamente (IPEF, 2003).

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 (NETO, 2001). O uso da água pela planta é controlado por diversos fatores que devem ser conhecidos, sendo que esses fatores englobam desde questões como umidade do solo até processos ocorridos na atmosfera, tais como radiação solar e temperatura do ar, passando é claro pela fisiologia do vegetal (condutância estomática). Leite (1996) afirma que as perdas de água nas espécies vegetais são comandadas pela demanda climática principalmente.

#### 4.4 Quantificação de água no solo

Considerado um sistema aberto e dinâmico, o solo é basicamente constituído por partículas sólidas de diferentes tamanhos, arranjadas de forma que originam espaços livres, denominados poros, espaço poroso ou porosidade do solo, das mais diversas dimensões (LIBARDI, 2010). Esses poros são fundamentais na realização das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, incluindo todas as plantas que usam o solo como suporte, para as quais são fornecidos nutrientes e, principalmente, água. Essa *água no solo* ocupa frações, variáveis no espaço e no tempo, do espaço poroso do solo, assim como o ar que preenche o volume poroso livre de água, quando o mesmo não estiver totalmente preenchido pela fase líquida, ou seja, não saturado. Nessa condição, a dimensão da porosidade ocupada por água é definida pelos fenômenos da capilaridade e da adsorção (LIBARDI, 2010). A capilaridade compreende a retenção nos poros de menor diâmetro, os microporos, associado a uma interface curva água-ar, enquanto que a adsorção depende das características eletroquímicas das partículas do solo, principalmente as argilas.

Esses fenômenos são fundamentais na retenção de água pelo solo, mas a capilaridade é fundamental no desempenho da função de armazenamento e disponibilidade de água no solo às plantas. Graças às interações entre as moléculas de líquidos e entre líquidos e sólidos, ocorre a manutenção de teores mínimos de água no solo, geralmente em valores suficientes para o suprimento hídrico vegetal. Pelas forças de atração entre as moléculas de água e repulsão entre as de água e as do ar do solo, garante a manutenção de um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular, com equilíbrio entre as frações líquida e gasosa do solo. Assim, é de fundamental importância a quantificação do recurso hídrico no sistema solo, a partir dos mais diversos métodos.

Esses métodos baseiam-se em duas determinações do conteúdo de água no solo, uma com base no volume e outra com base na massa. A umidade do solo com base no volume ( $\theta$ ) relaciona o volume de água ( $V_{\text{água}}$ ) com o volume total da amostra de solo ( $V_{\text{total}}$ ) que contém esse volume de água. A determinação da umidade com base na massa é baseado na simples relação entre a massa de água ( $m_a$ ) e a massa de sólidos ( $m_s$ ) que a contém.

Para mensurações de baixa frequência, realizadas em experimentos que contam com uma estrutura laboratorial de apoio, os métodos acima citados, constituem-se um padrão pela simplicidade e pouco custo com os materiais a serem utilizados. Entretanto, por demandar tempo e infraestrutura específica, além de ser um método trabalhoso e destrutivo, não permite a repetição de amostragens em um mesmo local (TEIXEIRA et al, 2005). Isso limita o uso desta técnica quase que exclusivamente às instituições de pesquisa e universidades, apesar da necessidade real e imediata de medições de umidade do solo também em lavouras comerciais, especialmente aquelas sob irrigação.

Assim, é premente dispor de técnicas que propiciem uma determinação rápida, precisa e constante ao longo do tempo, como os vários equipamentos e métodos indiretos desenvolvidos para fazer uma medição do conteúdo de água no solo com as características supracitadas.

#### **4.4.1 Métodos indiretos para determinação do conteúdo de água no solo**

Entre os diversos métodos de determinação da umidade do solo utilizados, os métodos indiretos se baseiam em propriedades físicas e químicas do solo que são proporcionalmente relacionadas ao conteúdo de água. Por isso, requerem calibração dos equipamentos que executam estas medidas (SILVA, 2005). Entre esses, os mais utilizados atualmente são os métodos da dispersão de nêutrons e da constante dielétrica.

O método da dispersão de nêutrons utiliza uma sonda que funciona como fonte radioativa de nêutrons rápidos e como detector dos nêutrons que se tornam lentos ou sofrem a moderação (ARAÚJO NETO, 1994). Como a maior parte do efeito na contagem do equipamento é exercida pelos átomos de hidrogênio do solo, que em sua maioria estão contidos nas moléculas de água, é possível determinar a umidade no solo por meio de funções definidas na calibração do equipamento. Estas funções são específicas a cada solo, sendo obtidas pela regressão da razão entre a taxa de contagem da sonda e o volume de água no solo obtido independentemente (ARAÚJO NETO, 1994). Entre as vantagens desse método, a possibilidade de realizar medidas de umidade instantâneas ao longo do tempo sem necessidade de

coleta de amostras superam o método gravimétrico em praticidade. Além disso, é capaz de analisar um volume grande de solo e a diferentes profundidades, permitindo visualizar a distribuição de umidade ao longo do perfil de solo (SILVA, 2005). Entretanto, pela sua sensibilidade a outras moléculas que contém hidrogênio, seu uso em solos com alto teor de matéria orgânica para determinação da umidade não é recomendado, além de não gerar dados confiáveis em camadas superficiais do solo. Pelo seu custo elevado e exigência do cumprimento de normas específicas para equipamentos que contenham elementos radioativos, além do próprio risco de contaminação, seu uso em centros de pesquisa ou mesmo em lavouras comerciais é muito pouco difundido.

Nesse sentido, técnicas de determinação da umidade do solo baseadas na constante dielétrica se mostram bastante promissoras, sendo usualmente empregadas no setor de pesquisa e até na produção agrícola. Esses métodos seguem o princípio da permissividade ou constante dielétrica ( $\epsilon$ ), uma propriedade física que descreve o comportamento dielétrico de um dado material (SILVA, 2005). Ela é expressa, geralmente, em permissividade relativa ( $\epsilon_r$ ), que é a razão da permissividade do material em relação ao vácuo ( $\epsilon_0$ ). Cada meio apresenta uma constante dielétrica específica, sendo o valor para água ( $\epsilon_r = 80$ ) muito discrepante em relação ao ar ( $\epsilon_r = 1$ ) ou ao solo seco ( $\epsilon_r = 3$ ), o que permite relacionar proporcionalmente as medições dos equipamentos com o conteúdo de água no solo (SILVA, 2005). As técnicas baseadas no método da constante dielétrica têm sido amplamente usadas em sensores capacitivos e de reflectometria no domínio do tempo (TDR), além de sistemas de armazenamento de dados, acopláveis a estes equipamentos, que propiciam o monitoramento da umidade do solo a campo no tempo e no espaço (SANTOS et al., 2010). Entretanto, a determinação do conteúdo volumétrico de água por meio da medição da constante dielétrica do solo não apresenta correlação direta, requerendo duas etapas para sua execução, que são a medição da permissividade propriamente dita e a relação entre esta e a umidade (SILVA, 2005). Devido à influência de propriedades como textura, densidade e temperatura, a relação entre a constante dielétrica medida pelo equipamento e a do solo ( $\epsilon_s$ ) é estabelecida através da calibração a campo (SILVA, 2005).

#### 4.4.2 Propriedades dielétricas do solo e a determinação da umidade

As propriedades dielétricas dos materiais podem ser descritas por uma representação complexa da constante dielétrica, mostrada na Equação 1:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

em que  $\varepsilon'$  é a parte real da permissividade, medida da polaridade dos materiais constituintes, incluindo a água, e  $\varepsilon''$  é a parte imaginária da permissividade que representa a absorção de energia na condução dos íons e as perdas dielétricas (DIRKSEN, 1999). Como a parte imaginária é muito pouco significativa em relação ao valor total da permissividade, devido ao isolamento dos equipamentos, a determinação da  $\varepsilon$  do solo contempla a permissividade real.

A capacitância ( $C$ ) ou voltagem medida a campo por um equipamento ou sonda pode ser definida assim:

$$C = Q/V \quad (2)$$

onde  $Q$  é a carga necessária para elevar a tensão ( $V$ ) em 1 Volt entre duas hastes ou placas paralelas preenchidas com material isolante (SILVA, 2005). Quanto mais dipolos elétricos houver entre as hastes de TDR, que possam orientar-se em direção oposta a carga das mesmas, uma carga maior é necessária para se obter determinada voltagem. Assim, a voltagem medida depende diretamente da constante dielétrica. Como no solo as moléculas polarizáveis são representadas quase exclusivamente pela água, já que a matéria orgânica é muito pouco polarizável, determina-se seu conteúdo no solo por meio de uma função relacionando permissividade e umidade do solo, obtida na calibração a campo dos equipamentos leitores.

No caso do TDR, a obtenção da permissividade do solo é feita através da medição do tempo que um pulso de energia, transmitido por um cabo, leva para ser refletido de volta ao equipamento. Esse tempo por sua vez é convertido em distância, o que leva a demonstração dessa informação na forma de onda (SILVA, 2005). Para fins de medição da umidade do solo, a curva de calibração tem sido

desenvolvida sob as mais diversas formas, sendo que o modelo empírico de Topp et al. (1980) considera a relação  $\epsilon/\theta$  dependente apenas da umidade:

$$k = 3,03 + 9,3\theta + 146\theta^2 + 76,7\theta^3 \quad (3)$$

onde  $k$  é a constante dielétrica relativa aparente do solo, e  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água do solo, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Embora essa função seja recomendada para uso geral em todos os solos, sua precisão tem se mostrado inferior a de curvas de calibração ajustadas aos solos em que são utilizadas (TOMMASELLI; BACCHI, 2001). Isso é devido em parte à dependência de características como salinidade e temperatura para um bom funcionamento do equipamento (SILVA, 2005).

Os equipamentos que utilizam a tecnologia TDR são constituídos basicamente por uma sonda com duas hastes metálicas paralelas e afastadas, unidas em um cabeçote isolante, geralmente de resina sintética, de onde parte um cabo coaxial que transmite e recebe os pulsos de energia às sondas. Os cabos coaxiais podem estar permanentemente conectados a um sistema de medição composto por multiplexador, TDR e “data logger”, que emitem os pulsos e armazenam os dados medidos, ou então utiliza-se um equipamento portátil (TDR - Trase) para determinações em diferentes locais com um mesmo equipamento, o que requer o transporte do mesmo.

Apesar da versatilidade e adaptabilidade da tecnologia TDR aos mais diversos locais e áreas de pesquisa, seu uso apresenta algumas desvantagens. Além de exigir uma calibração específica ao solo em que será instalada, essa instalação é trabalhosa, pois requer a escavação de trincheiras para inserção dos sensores em diferentes profundidades ao longo de um perfil de solo (WHALLEY et al., 2004). Nesse sentido, equipamentos cuja implantação a campo seja menos árdua e interferente na área experimental tem sido desenvolvidos mais recentemente com o fim de facilitar o monitoramento da disponibilidade hídrica no perfil de solo.

#### **4.4.3 Utilização do TDR para medir água no solo**



A umidade do solo é uma propriedade que afeta a resistência e suscetibilidade a compactação, exigindo equipamentos que permitam o monitoramento espacial e temporal. O conhecimento do teor de água do solo é imprescindível a qualquer estudo que envolva as propriedades do sistema solo-água-plantas. Sua determinação, pela técnica da reflectometria no domínio do tempo – TDR é uma das mais exatas. O uso do TDR tem-se difundido na área de pesquisas principalmente por ser um método não-destrutivo, por sua exatidão e pela possibilidade de automação da coleta dos dados (COELHO et al., 2006).

Com a automatização do TDR, conectando-o a multiplexadores e dispositivos de armazenamento de dados (EVETT, 2003), o monitoramento contínuo da umidade do solo em vários pontos é possível, permitindo estudo do movimento de água e solutos (TOPP et al., 1980) e da disponibilidade de água as plantas relatado por Jackson & Wallace, (1999) citado por Kaiser et al. (2010).

A técnica da reflectometria de microondas, aqui denominada TDR (Time Domain Reflectometry), foi introduzida recentemente no Brasil, especificamente para a medida de conteúdo de água do solo, por Herrmann Júnior (1993) e também por Tommaselli; Bacchi (1995). Partindo do estudo de propriedades dielétricas de misturas heterogêneas, feito por Loo (1964), a técnica da TDR foi introduzida por Fellner-Feldegg (1969), medindo, inicialmente, as propriedades dielétricas dos líquidos e depois as propriedades dielétricas de vários materiais, entre eles o solo. A partir do trabalho de Topp et al (1980), a técnica da TDR aplicada aos solos começou a ser considerada muito promissora (TOMMASELLI; BACCHI, 2001).

Foi inicialmente introduzido para a medição de propriedades dielétricas de líquidos e, a partir de 1980, começou a ser considerado como uma técnica promissora em ciência do solo. A técnica é baseada em uma estimativa de tempo ( $t$ ) da propagação de ondas eletromagnéticas com frequências de 1 MHz a 1 GHz e uma velocidade de  $30 \text{ cm ns}^{-1}$  ( $c$ ), em um guia metálico de comprimento conhecido ( $L$ ) inserido no solo, para estimar o constante dielétrica aparente do solo ( $K_a$ ).

A água é o componente que tem a maior influência sobre propagação de ondas eletromagnéticas, pois tem uma constante dielétrica relativa (81) muito maior do que os minerais e partículas orgânicas (2-7), o que torna possível estimar a umidade volumétrica do solo em termos da sua constante dielétrica (TOPP et al., 1980). Quanto maior o teor de água no meio, maior será o tempo necessário para o

deslocamento do pulso elétrico nas hastes metálicas e maior sua constante dielétrica aparente (KAISER et al, 2010).

Modelos empíricos que relacionam a umidade volumétrica do solo com a constante dielétrica são práticos e úteis para o estabelecimento de curvas de calibração de TDR e têm sido investigadas por diferentes autores (OTTO; ALCAIDE, 2001; TOMMASELLI; BACCHI, 2001; TEIXEIRA et al, 2003; COELHO et al, 2006). Embora os modelos propostos por Topp et al. (1980) e Ledieu et al. (1986) estimam a umidade do solo de forma satisfatória, os modelos ajustados têm aplicabilidade limitada às condições locais em termos de diferenças que existem na condutividade elétrica, teor de argila e quartzo (TOMMASELLI; BACCHI, 2001) e matéria orgânica do solo.

Diversos tipos de TDR têm sido disponibilizados no mercado e a maioria requer guias de onda para transmitir um pulso eletromagnético, a partir do qual se determina a constante dielétrica aparente do solo. Várias guias de onda vêm sendo construídas em condições artesanais, com bons resultados (CONCIANI et al., 1997; SOUZA et al., 2001; COELHO et al., 2001). Essas guias de onda são muito usadas no Brasil, principalmente com analisadores de umidade do tipo TDR das marcas Tektroniks e Trase System. Um equipamento também disponível é o TDR 100 que, a exemplo dos demais, pode ser acoplado a multiplexadores, usados como ferramenta para aumentar os pontos de medição simultânea de umidade em sistemas automáticos de leitura relatado por Coelho et al. (2005).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da área

O trabalho foi realizado no município de São Francisco de Assis, a 29°38'44.37"S e 55°10'19.33"O, localizado no Sudeste do Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961) é do tipo Cfa, com temperatura média anual de 18°C, a temperatura do mês mais quente é superior a 23°C e a do mês mais frio situa-se entre -3 e 18°C. A precipitação média anual atinge cerca de 1570 mm.

O solo do local do experimento é classificado como Argissolo Vermelho distrófico espessarênico (EMBRAPA, 2006).

O trabalho foi realizado em um experimento com *Eucalyptus dunnii* Maiden implantados em outubro de 2008, em quatro diferentes espaçamentos entre plantas: 3,5x3,5 m (T1); 3,5x1,75 m (T2); 1,75x1,75 m (T3) e 1,75x0,87 m (T4), distribuídos em parcelas quadradas, totalizando 12 unidades experimentais com 35m de lado.

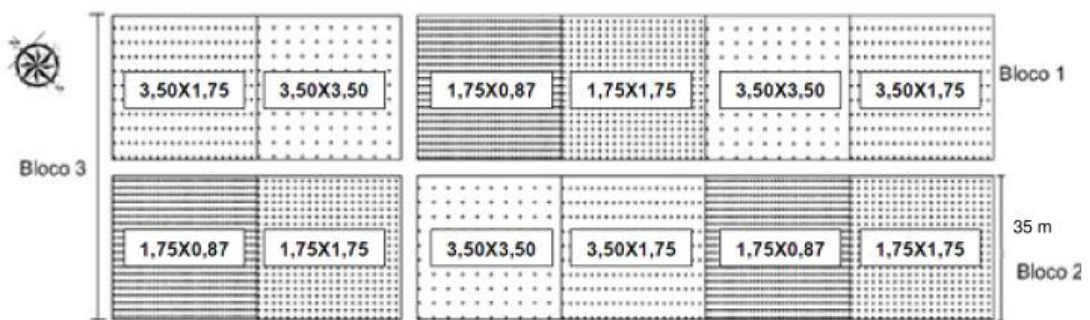


Figura 1 - Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

## 5.2 Vegetação natural

A vegetação natural da região onde foi realizado o estudo é classificada como campo (Figura 2) (ROSA, 2010). Segundo Marchiori (2004), a palavra campo designa o tipo vegetacional correspondente a áreas desprovidas de mata.

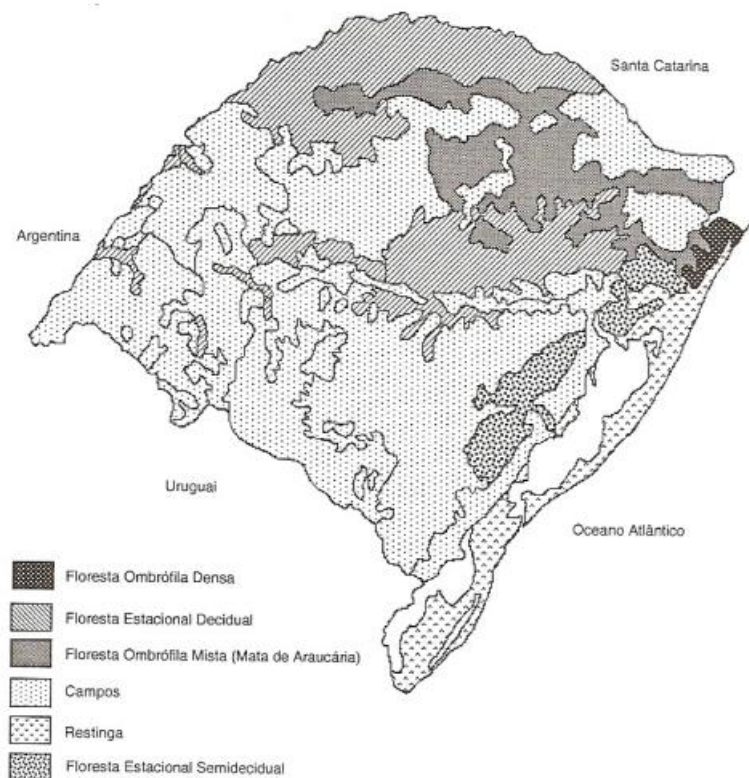


Figura 2 – Vegetação potencial do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Fonte: Quadros e Pillar (1990).

De acordo com Porto (1990), a formação dos campos no Rio Grande do Sul é resultado de formações edáficas e não climáticas, pois as condições climáticas são favoráveis à existência de florestas, no entanto, estas não ocorrem. Além de características edáficas, a pressão pelo pastejo é outro fator responsável pela formação de campo, constituído principalmente por gramíneas, compostas e leguminosas (RAMBO, 2005).

Para Leite; Klein (1990), essa região é fisiograficamente classificada como estepe, com relevo suave ondulado a ondulado e com grande uniformidade, o que

condiciona uma cobertura vegetal simples, destituída de aglomerados formados por vegetação arbustiva e arbórea significativa, as quais, quando ocorrem, estão associados a acidentes geográficos, em locais mais protegidos da incidência dos ventos.

### 5.3 Determinações

#### 5.3.1 Análise física do solo

As propriedades físicas do solo analisadas foram: granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água e a seco.

Na determinação granulométrica foi quantificado o teor de argila (fração menor que 0,002 mm), o de silte (0,002 – 0,05 mm), o de areia fina (0,05 – 0,20 mm) e o de areia grossa (fração superior a 0,20 mm) pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Foram usados 20g TFSA e NaOH a 6% como dispersante.

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro (EMBRAPA, 1997). As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros metálicos de 6 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura. Após, foram secas em estufa a 150°C, por aproximadamente 48 horas, até peso constante, e, posteriormente foram pesadas.

A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas. A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura preservada, nas quais os cilindros metálicos, contendo as amostras, foram submetidos à saturação por 24 horas. Posteriormente, estes foram colocados em mesa de tensão com 60 cm de coluna de água (6KPa). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, conforme equações abaixo:

$$PT = (1 - D_s/D_p) * 100$$

$$\text{Microporosidade} = V_a/V_t * 100$$

$$\text{Macroporosidade} = \text{PT} - \text{microporosidade}$$

Em que:

PT = porosidade total (%);

Ds = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );

Dp = densidade de partícula ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Va = volume de água retido na amostra à  $-6 \text{ kPa}$  ( $\text{cm}^3$ );

Vt = volume total da amostra ( $\text{cm}^3$ ).

### **5.3.2 Medidas de precipitação e avaliações dendrométricas**

Os dados de precipitação pluviométrica do período de monitoramento da umidade do solo foram obtidos juntamente com a empresa StoraEnso, a partir de estações de medição próprias.

As avaliações dendrométricas foram realizadas aos 36 e 42 meses de idade da população. Para as medições de altura total utilizou-se hipsômetro Vertex III, e os diâmetros (DAP) foram medidos a 1,30cm, com sutas.

### **5.3.3 Umidade do solo**

Para a medida da umidade do solo a campo foi utilizada a técnica da reflectometria de domínio do tempo (TDR). Para isso, foram instalados na área dois equipamentos TDR-100, fabricado pela Campbell (Figura 3a). Este aparelho tem acoplado um Datalogger, onde ficam armazenados os dados, e um multiplexador que tem a função de multiplicar o número de pontos de avaliação. Cada multiplexador contém oito canais, ou seja, oito pontos em que se podem conectar cabos coaxiais ou então oito outros multiplexadores, aumentando ainda mais os pontos de leitura.

Os cabos coaxiais foram conectados a sondas metálicas com haste dupla de 20 cm de comprimento, que foram instaladas horizontalmente a cada 30 cm de profundidade, por meio de abertura de trincheiras com 2,10m de profundidade em cada parcela, compondo sete camadas por trincheira (Figura 3b). A umidade do solo foi monitorada continuamente no período de novembro/2011 a maio/2012.

(a)



(b)



Figura 3 – Conjunto de equipamentos TDR-100 (a); disposição da instalação das sondas nas trincheiras (b).

### 5.3.3.1 Calibração

As sondas de TDR foram construídas no laboratório de física do solo da UFSM, sendo compostas de duas hastes de aço inoxidável de 0,005 m de diâmetro e 0,19 m de comprimento e espaçadas 0,045 m. O bloco isolante da sonda foi construído de resina Epóxi que manteve o paralelismo das guias, as quais foram conectadas a um cabo coaxial 50 Ohm, com comprimento de 3 m. A extremidade do cabo coaxial, que liga-se ao multiplexador, foi fixada a um conector tipo BNC.



O solo coletado nas camadas de 0-1,20 m e 1,20-1,80 m foi seco ao ar livre e, posteriormente, passado em peneira de 2mm. Para as medições com o TDR-100, foram preparadas 10 amostras com diferentes níveis de umidade para cada camada. Primeiramente foi calculada a umidade residual do solo seco ao ar, colocando-se uma amostra em estufa a 105 °C por 24 horas. Com o valor da umidade inicial da amostra, foram calculadas as quantidades de água a serem adicionadas em cada amostra, para que houvesse amostras com umidades desde a residual até a saturação. As amostras foram transferidas para colunas de PVC com um diâmetro 0,1 m e altura de 0,3 m (Figura 4). O solo foi adicionado em quantidades calculadas para que, após compactado com um cilindro metálico, cada camada ficasse com 2 cm de espessura e tivesse densidade de 1,50g cm<sup>-3</sup>.

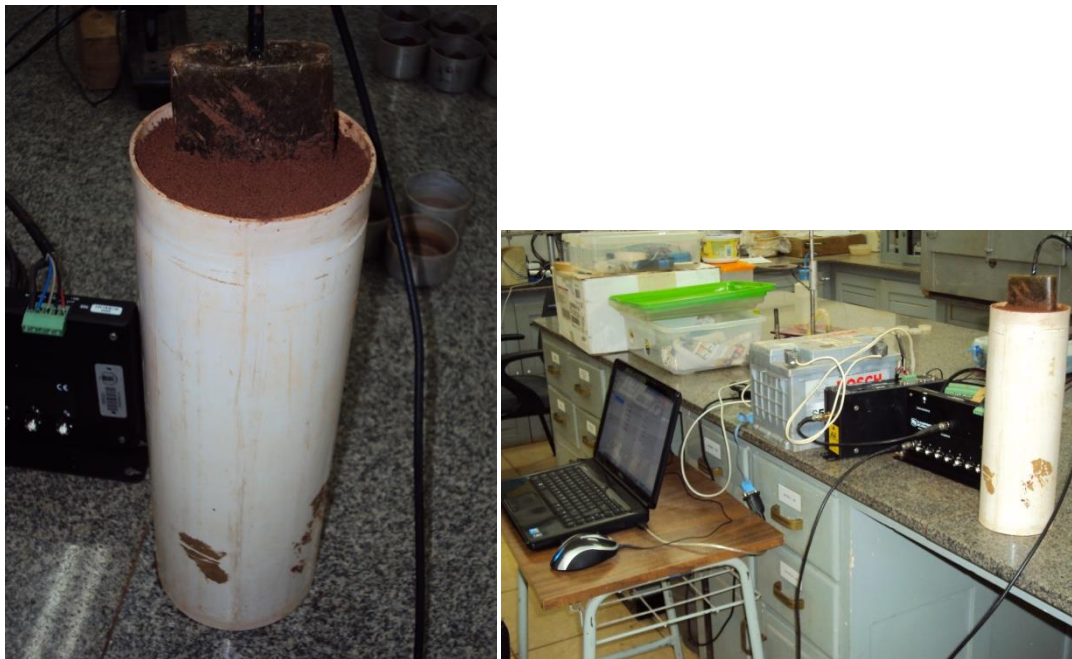


Figura 4 - Coluna de PVC com as hastes das sondas inseridas na amostra (a) e leituras da  $K_a$  sendo feitas utilizando o TDR-100 (b).

Em cada coluna de PVC, foi inserida uma sonda de TDR para medição da constante dielétrica ( $K_a$ ). Nas medições feitas com o TDR100, as sondas foram conectadas em um multiplexador ligado a um datalogger para o armazenamento dos



dados. O TDR100 fornece automaticamente as medidas de Ka. Foram feitas 10 leituras de Ka, a cada 1 minuto, por amostra.

Após todas as leituras serem concluídas, para cada coluna de PVC, uma amostra do solo de cada coluna foi coletada com anel de 5,7 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura para verificação da densidade e umidade, após 24 horas em estufa a 105°C. Esta verificação foi feita para conferir se as umidades e densidades ficaram próximas dos valores pré-determinados.

A umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) foi multiplicada pela densidade para ser expressa em termos volumétricos ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ). Além das condições de umidade pré-estabelecidas, foram feitas medidas de Ka em solo seco em estufa a 105°C ( $0 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e em água ( $1 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), as quais foram utilizadas como condição de contorno a ser estabelecida nas curvas de calibração. Em uma planilha, foram dispostos os dados da Ka e de umidade volumétrica. A partir desses dados, foram ajustadas equações polinomiais cúbicas da umidade em função da Ka. As equações resultantes foram avaliadas com base no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) (Figura 5 e 6).

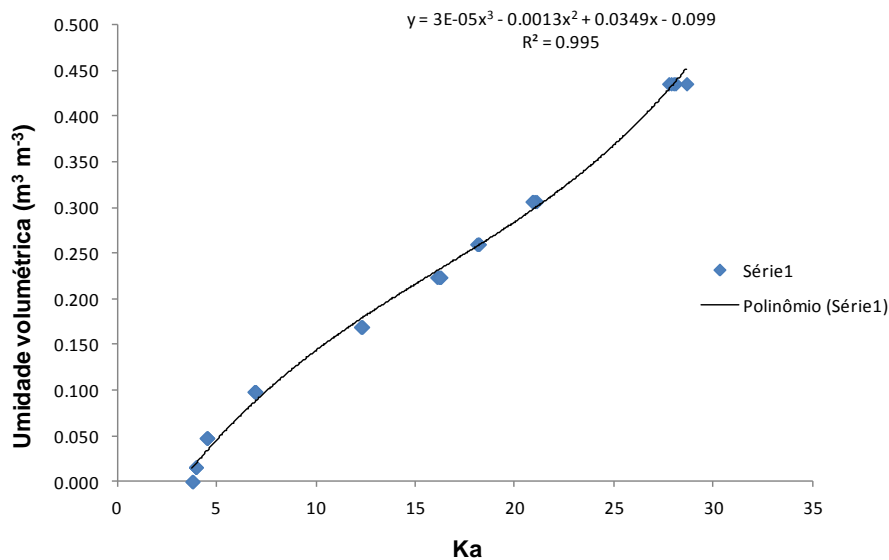


Figura 5 – Curva de calibração do solo para a camada arenosa.

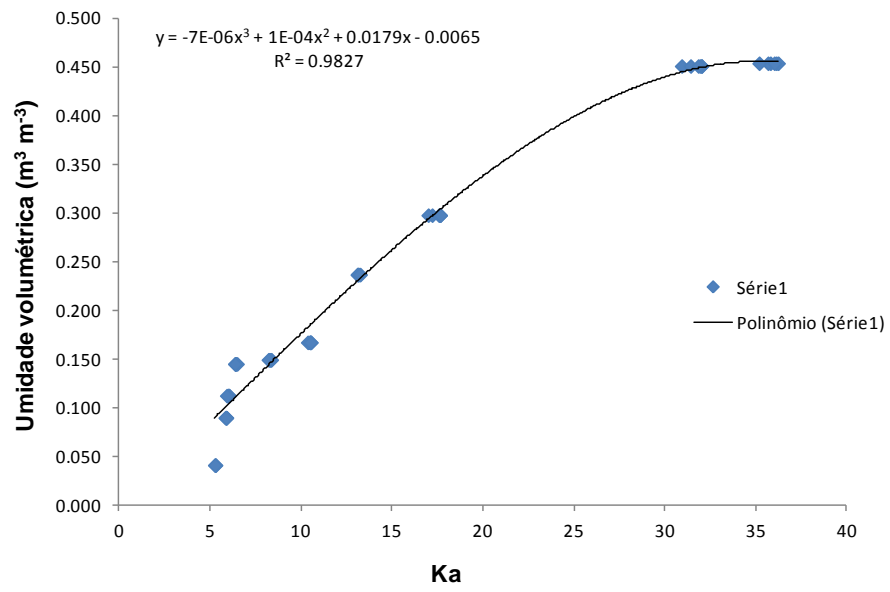


Figura 6 – Curva de calibração do solo para a camada argilosa.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 são apresentados os volumes mensais de precipitação do período de monitoramento. Os meses de início de verão apresentaram níveis normais de chuva para o período, já os três primeiros meses de 2012 os volumes de chuva foram muito baixos. Somente no mês de abril do mesmo ano, as precipitações voltaram a normalidade, que segundo o CPPMet (2012) o volume de precipitação é acima de 100mm.



Figura 7 – Precipitação ocorrida na área experimental, durante o período de monitoramento da umidade.

Conforme a Tabela 1 a análise granulométrica revelou que na camada de 0,00-0,10 m o solo possui textura areia e nas camadas 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00 m areia franca, na camada 1,00-1,50 m (horizonte B), nessa camada, a textura foi classificada como franco arenosa.

O teor médio de areia fina foi de 60,03% na camada de solo 0,00-0,10 m, e variou entre 55,30% a 57,40% nas camadas 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60, 0,60-1,00 m. Na última camada, o teor de areia fina foi de 48,62% e o teor de argila de 24,04%.

Tabela 1 - Caracterização granulométrica das camadas do Argissolo Vermelho distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

<b>Camada (m)</b>	<b>AG (%)</b>	<b>AF (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Arg. (%)</b>	<b>Classe Textural</b>
0,00-0,10	24,59	60,03	9,14	6,23	Areia
0,10-0,20	22,64	57,13	10,02	10,21	Areia Franca
0,20-0,40	21,66	55,30	11,09	11,95	Areia Franca
0,40-0,60	19,31	57,40	10,92	12,37	Areia Franca
0,60-1,00	20,09	55,86	11,61	12,44	Areia Franca
1,00-1,50	16,27	48,62	11,06	24,04	Franco Arenosa

AG = areia grossa; AF = areia fina; Arg. = argila.

Os diferentes espaçamentos de plantio de eucalipto não afetaram significativamente a densidade do solo após 12 meses de implantação de *E. dunnii* M. (Tabela 2). Os valores de densidade, nas distintas camadas, variaram de 1,44 g cm<sup>-3</sup> a 1,66 g cm<sup>-3</sup>, e estão situados entre os limites de densidades de solos de textura areia e franco-arenosas, que variam entre 1,20 até 1,80 g cm<sup>-3</sup> (Brady, 1989). De acordo com Reichert et al. (2007), os valores de densidade do solo estão dentro dos limites considerados adequados para solos arenosos, considerando as boas condições estruturais do ponto de vista da densidade.

A porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo na área com eucalipto não diferiu de acordo com os espaçamentos de *E. dunnii* M. (Tabela 3). A porosidade total do solo variou de 38,21 a 39,97% na primeira camada, 38,95 a 36,42% na segunda camada e de 38,82 a 40,78 % na terceira camada. Esses valores estão dentro da faixa de espaço poroso para superfície de solos arenosos, que se situam entre 35 a 50% (BRADY, 1989).

Tabela 2 – Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após um ano da implantação em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

Camadas (m)	Espaçamentos (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
0,00-0,10	1,58	1,59	1,59	1,58
0,10-0,20	1,63	1,58	1,60	1,65
0,20-0,40	1,57	1,58	1,57	1,57

Tabela 3 – Porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.

Espaçamento (m)	Porosidade Total (%)	Microporosidade (%)	Macroporosidade (%)
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>			
3,50X3,50	39,92	20,94	18,98
3,50X1,75	38,88	21,17	17,71
1,75X1,75	38,21	19,69	18,54
1,75X0,87	38,81	19,24	19,56
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>			
3,50X3,50	37,51	20,09	17,42
3,50X1,75	38,95	19,89	19,06
1,75X1,75	38,30	18,94	19,35
1,75X0,87	37,63	19,71	17,93
<b>Camada 0,20-0,40 m</b>			
3,50X3,50	39,95	22,09	17,87
3,50X1,75	38,96	22,5	16,46
1,75X1,75	40,48	19,56	20,91
1,75X0,87	40,25	22,24*	18,01

As variações da umidade volumétrica do solo ao longo do tempo acompanham o comportamento da precipitação pluviométrica observada no mesmo período, e o padrão das variações não é diferente no solo sob diferentes populações de plantas. Em camadas acima de 1,50 m de profundidade (zona com a maior quantidade de raízes e onde existia a menor variabilidade espacial do solo), a umidade foi menor, em termos absolutos, nos solos sob populações mais densas, o que pode ser reflexo tanto de maior uso de água, como da menor precipitação interna (maior interceptação) (STONEMAN; SHOFIELD, 1989).

Para que a água esteja disponível e seja absorvida pelas plantas é necessário que a mesma infiltre no solo com facilidade, ficando parte retida. A capacidade de retenção de água é uma característica específica de cada classe de solo, sendo resultado da ação conjunta de vários fatores de ordem física e mineralógica, tais como, porosidade, textura. A sua variação ao longo do tempo é influenciada principalmente pelas condições meteorológicas, pelo desenvolvimento das plantas, pelo grau de estruturação do solo e pela quantidade de resíduos sob a superfície (KAISER, 2010).

Os resultados de umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ) referentes aos meses de novembro e dezembro são mostrados na Figura 8 e 9. Na primeira camada (0,00-0,30 m) todos os tratamentos seguiram o mesmo padrão, os picos representam períodos de umedecimento, por meio de precipitação pluviométrica, e os vales são períodos de secagem. Nesta camada, apenas o T3 demonstrou menor conteúdo médio de água em alguns períodos. Estes resultados concordam com os obtidos por Leite (1996) que mostra que o solo tem a tendência de decréscimo no armazenamento de água, conforme aumenta a densidade populacional de eucalipto. Este comportamento pode ser explicado pelo efeito da interceptação da copa, que, naturalmente, em plantios mais adensados a precipitação interna é menor (LEITE, 1996), e, além disso, em florestas deve-se considerar que a serrapilheira formada sobre o solo retém grandes quantidades de água. Lima (1996) cita resultados obtidos que mostram perdas por interceptação entre 7 e 24%, que impõem redução considerável na quantidade de água de chuva que chega à superfície do solo. Leite (1996) afirma que com o aumento da área inicial disponível por plantas a quantidade de manta decresce. Dessa forma, é possível que se tenha maior retenção de água pela manta nas parcelas com maior população de plantas. Por outro lado, a manta também contribui para maior infiltração de água no solo (LIMA, 1996) e diminuição

da evaporação direta da água do solo, o que poderia contrabalançar o efeito anterior.

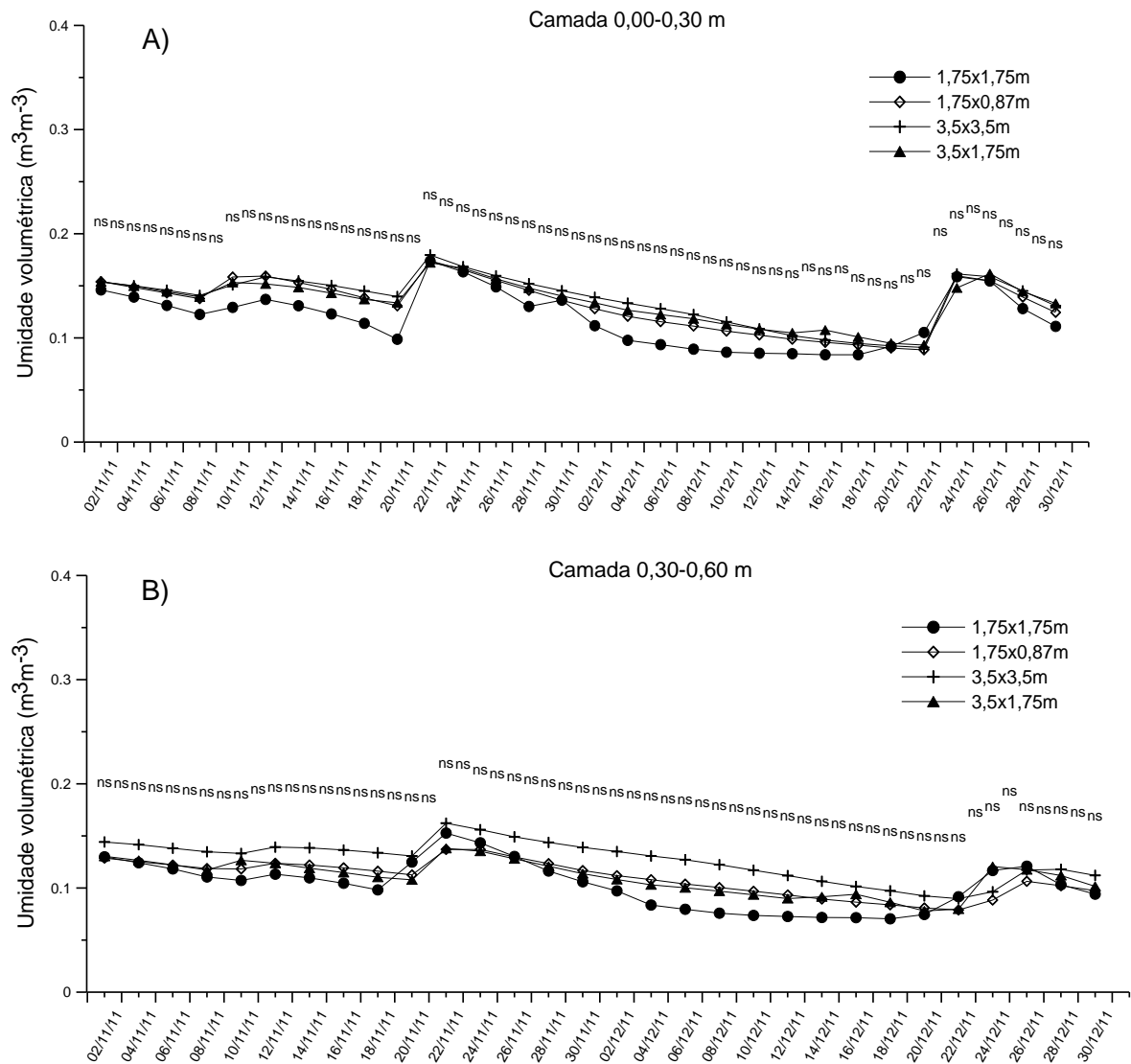


Figura 8 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de novembro e dezembro do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m.

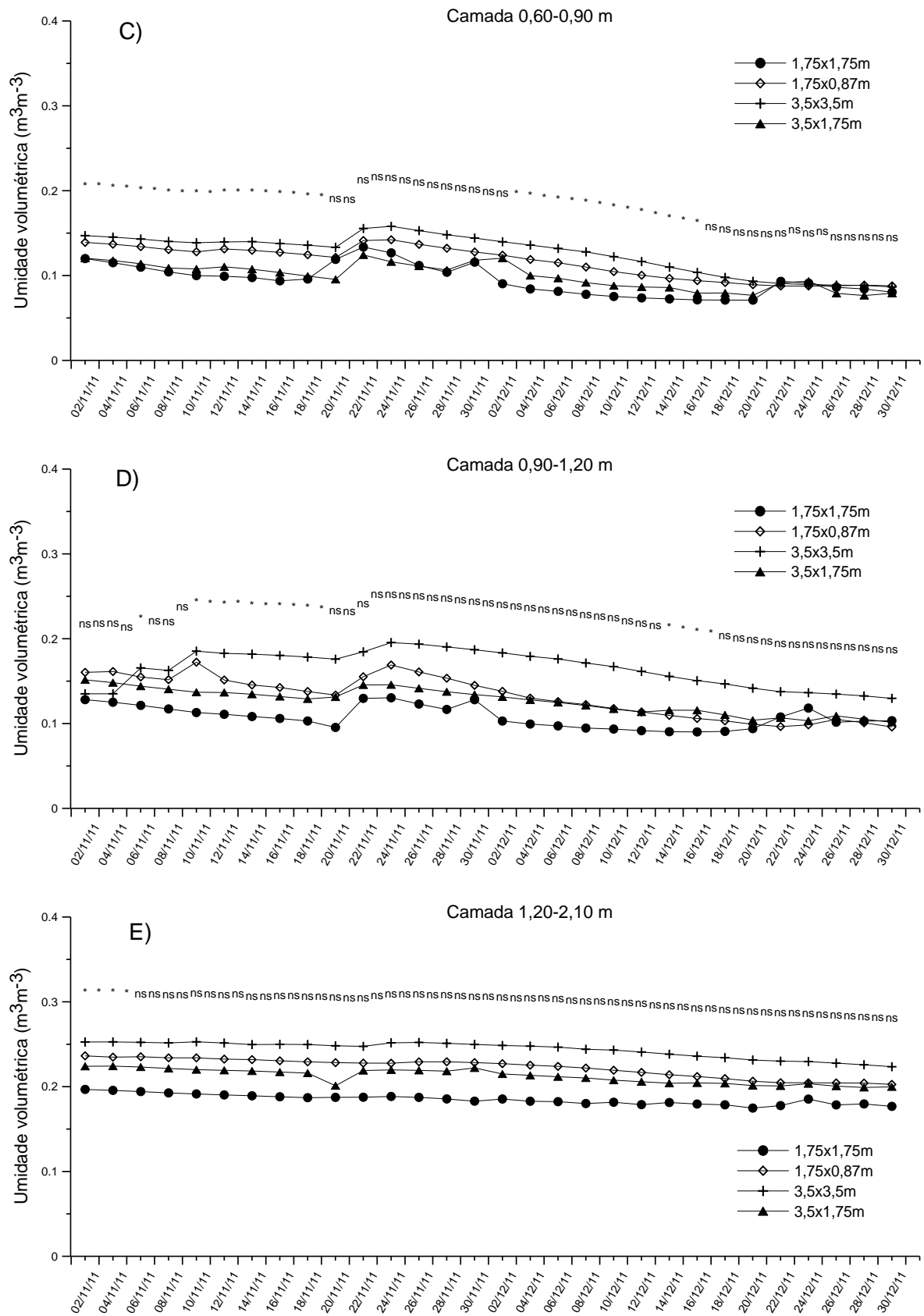


FIGURA 9 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de novembro e dezembro do ano de 2011: C) 0,60-0,90m; D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.



Observa-se que para a maioria das camadas, o maior conteúdo médio de água é do T1 (3,50-3,50 m). Tanto superficialmente quanto em profundidade o comportamento foi semelhante, o que denota que em amplos espaçamentos, a água proveniente da precipitação percola facilmente no perfil e, neste caso, ao encontrar uma camada mais argilosa, a umidade se mantém. Porém, nota-se uma tendência muito semelhante no tratamento mais denso (T4), o que pode ser efeito da distribuição radicular, que por haver maior competição por espaço criam-se mais raízes finas.

Na Figura 10 estão representados os gráficos referentes aos meses de janeiro e fevereiro de 2012, meses estes de seca intensa, que se demonstraram nos gráficos. Para todas as camadas e também para todos os tratamentos se observa que a distribuição da umidade é relativamente constante em quase todo o período. Não se nota a presença de picos elevados, o que mais uma vez reforça o baixíssimo índice de precipitação neste período. O conteúdo de água volumétrico nas camadas foi influenciado pelas condições meteorológicas ocorrentes no período. O aumento na quantidade de água disponível ocorre em função da entrada de água pela precipitação e redistribuição no perfil do solo (PREVEDELLO, 2012). No entanto, a saída de água foi devido à extração pelo sistema radicular e pela evapotranspiração das plantas, além de perdas por drenagem de água no perfil do solo.

Em camadas mais profundas, como por exemplo, a partir da terceira camada (Figura 10C, 11D e 11E) nota-se que a distribuição da umidade é relativamente retilínea para todos os tratamentos, qualquer mudança na disposição da linha é efeito do espaçamento, mas o comportamento da mesma não se altera, inclusive para os outros períodos.

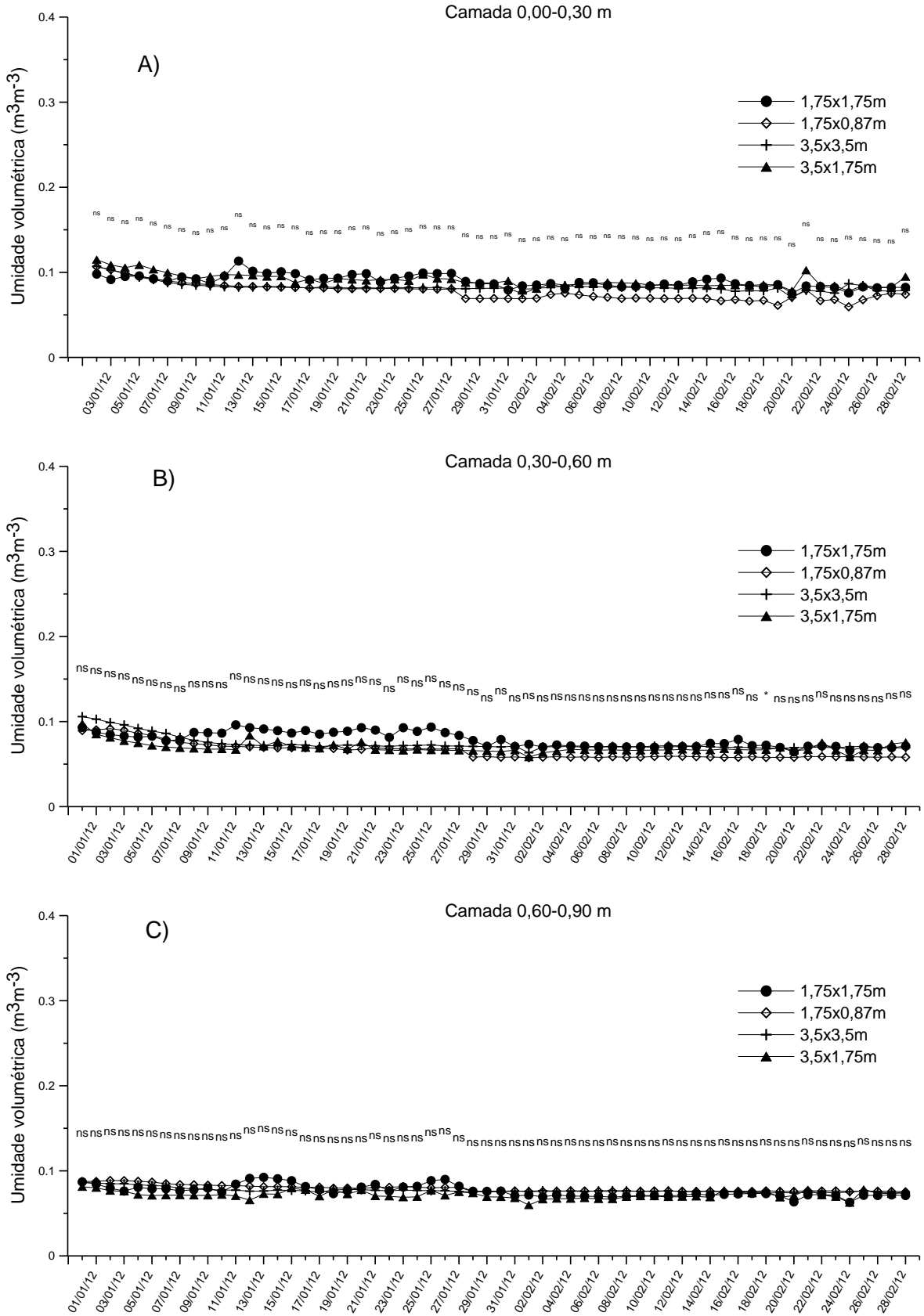


Figura 10 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-0,90m.

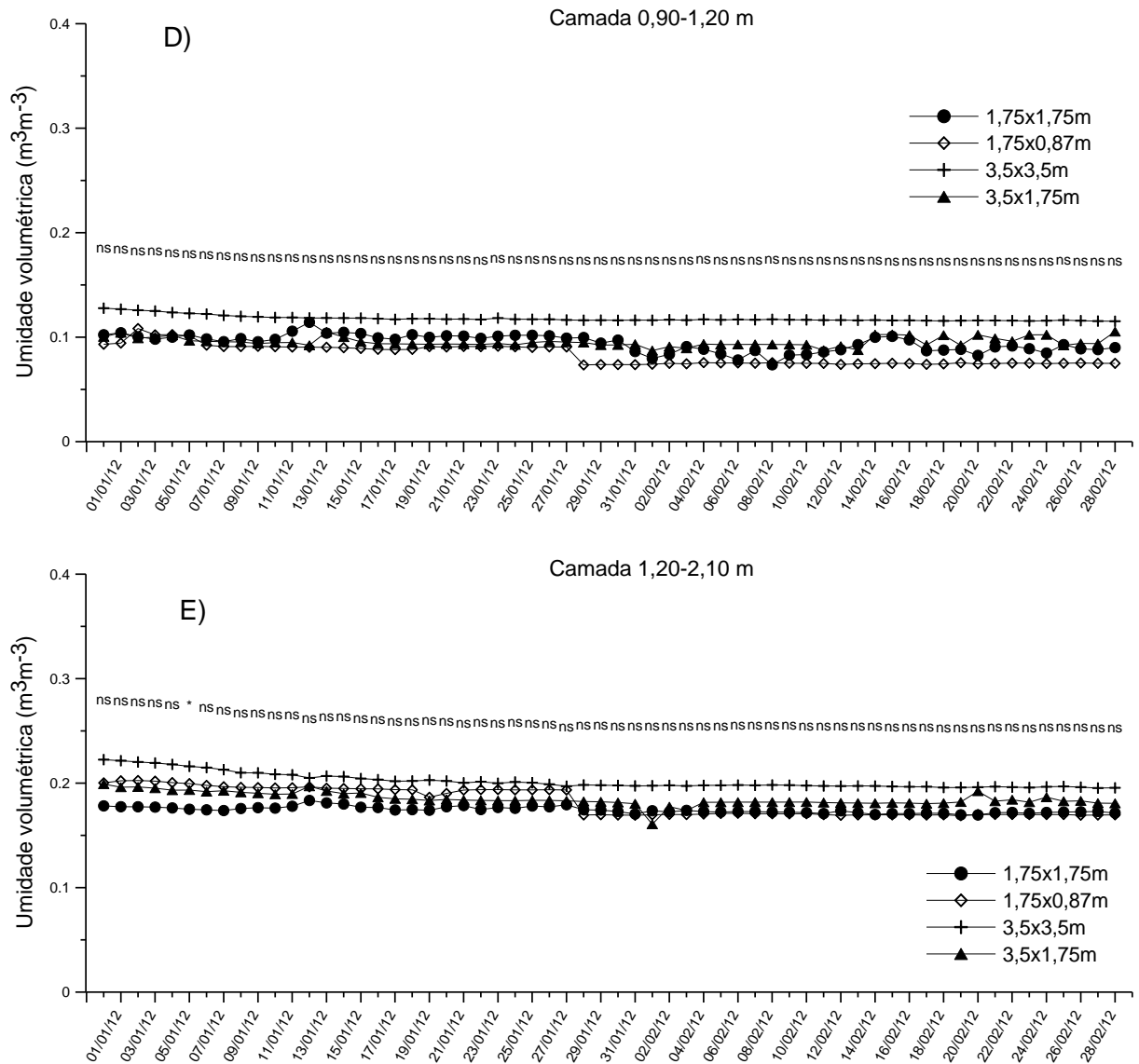


Figura 11 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.

Para os meses de março e abril foi observado que houveram alguns períodos de umedecimento, como fica evidente na primeira camada (Figura 11A), mas as diferenças entre os tratamentos não são significativas. Algumas diferenças entre os tratamentos são notadas na terceira camada (Figura 11C).

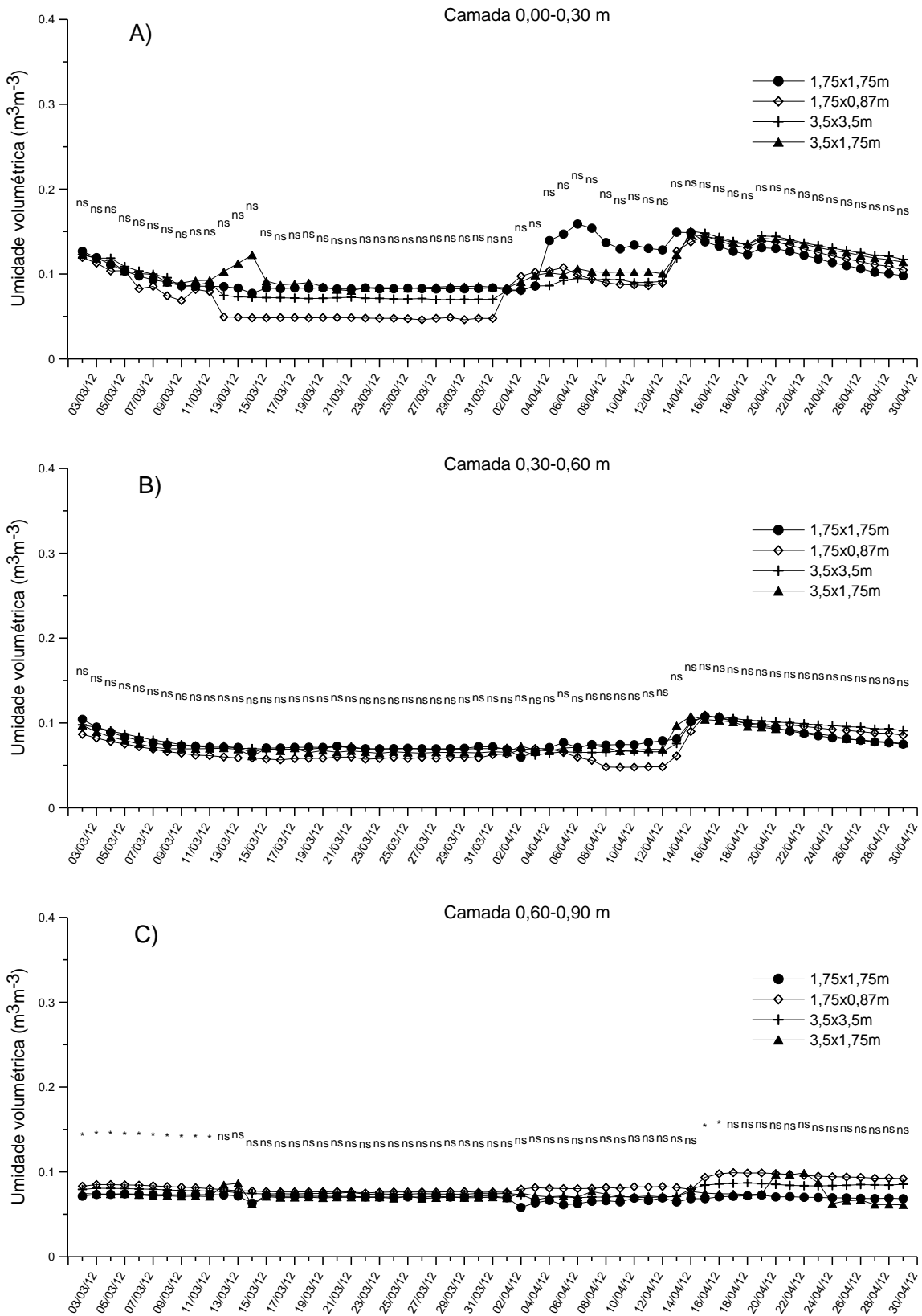


Figura 12 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de março e abril do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-0,90m.

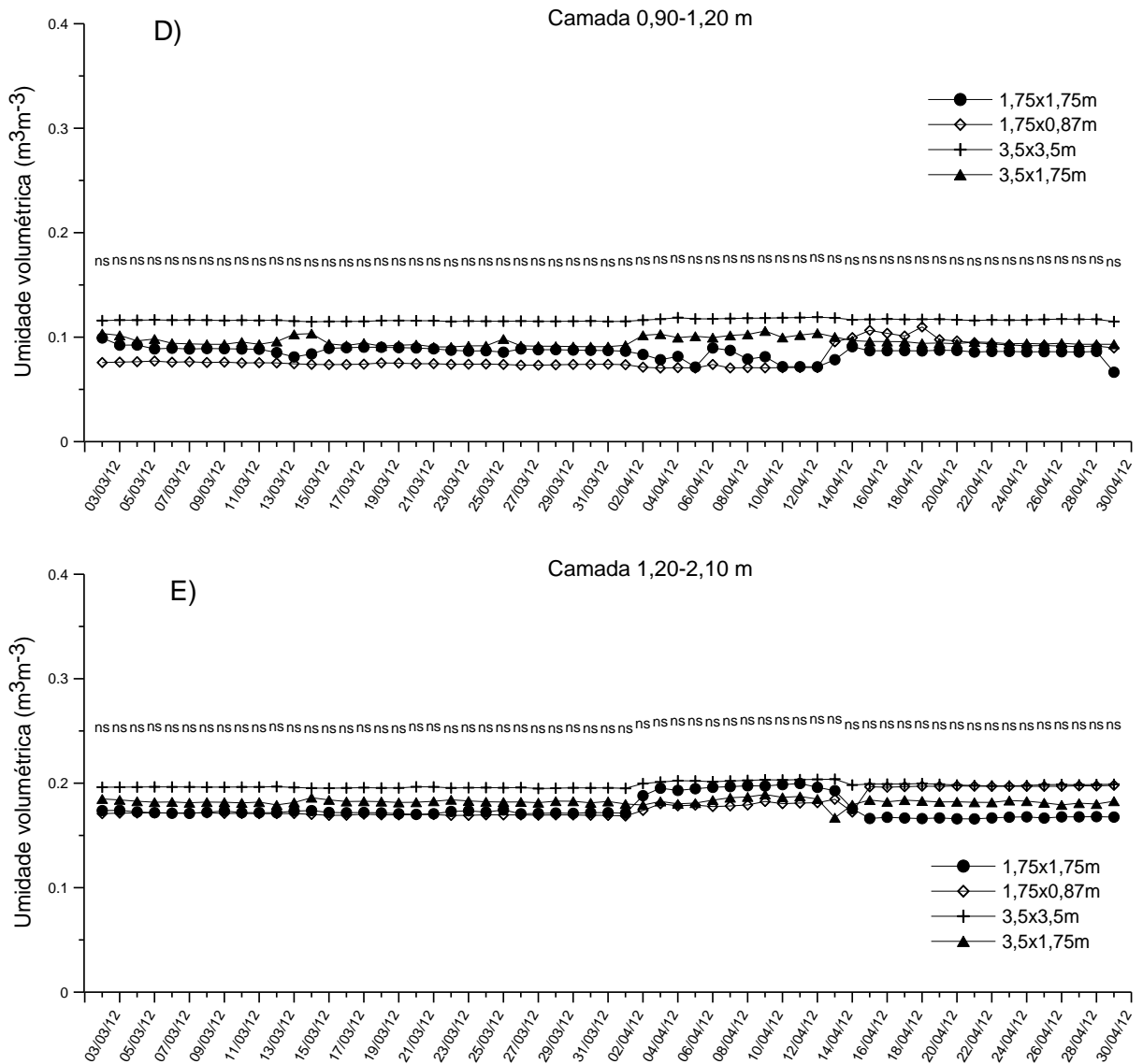


Figura 13 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente aos meses de março e abril do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.

No mês de maio (Figura 13) ainda é presente o efeito da falta de precipitação pluviométrica, pois os resultados de umidade volumétrica já na primeira camada (Figura 13A) têm comportamento praticamente retilíneo e valores muito próximos em todos os tratamentos. Diferenças significativas entre os tratamentos não são notadas em todas as profundidades.

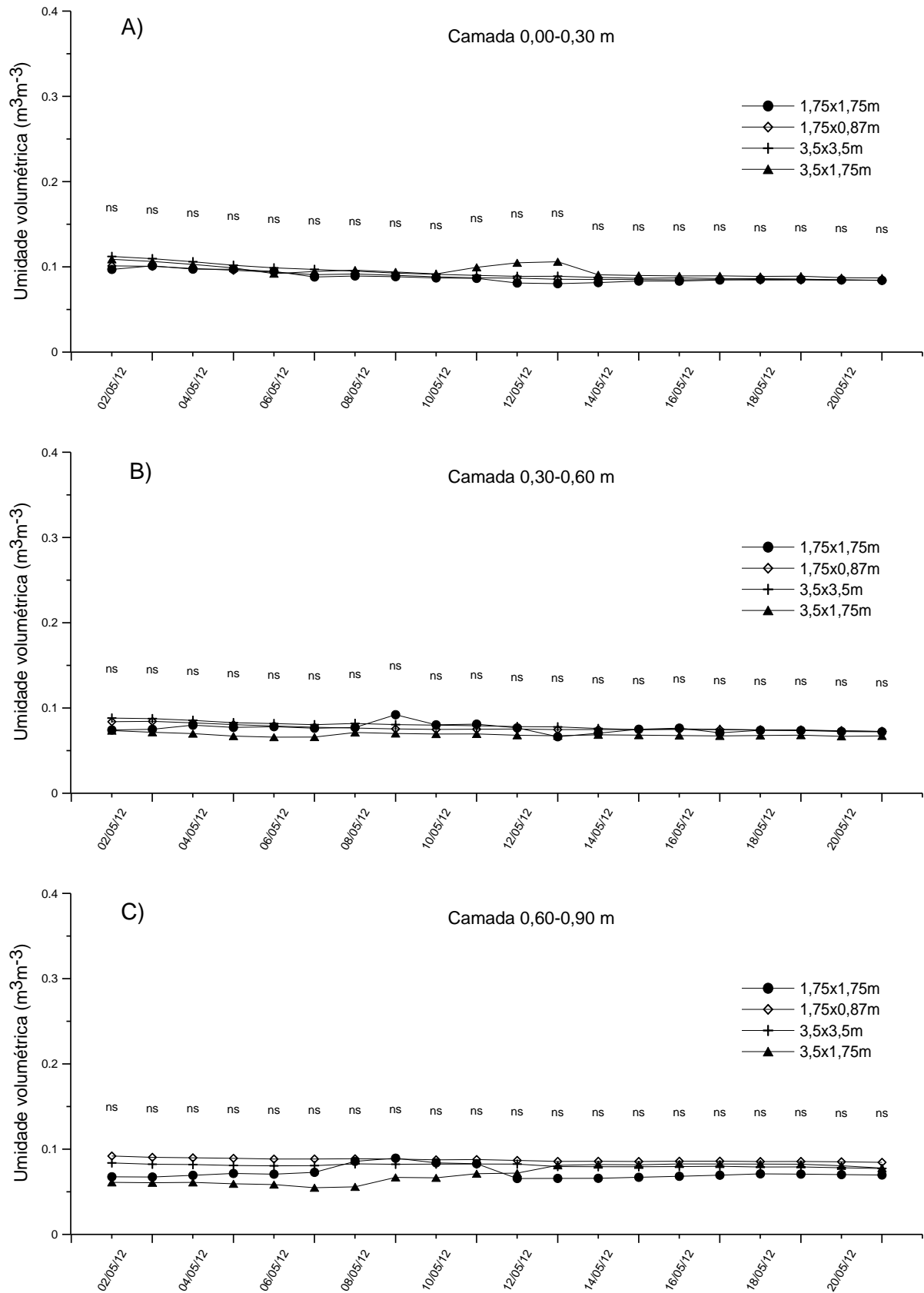


Figura 14 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente ao mês de maio do ano de 2011: A) Camada 0,00-0,30m; B) 0,30-0,60m; C) 0,60-0,90m.

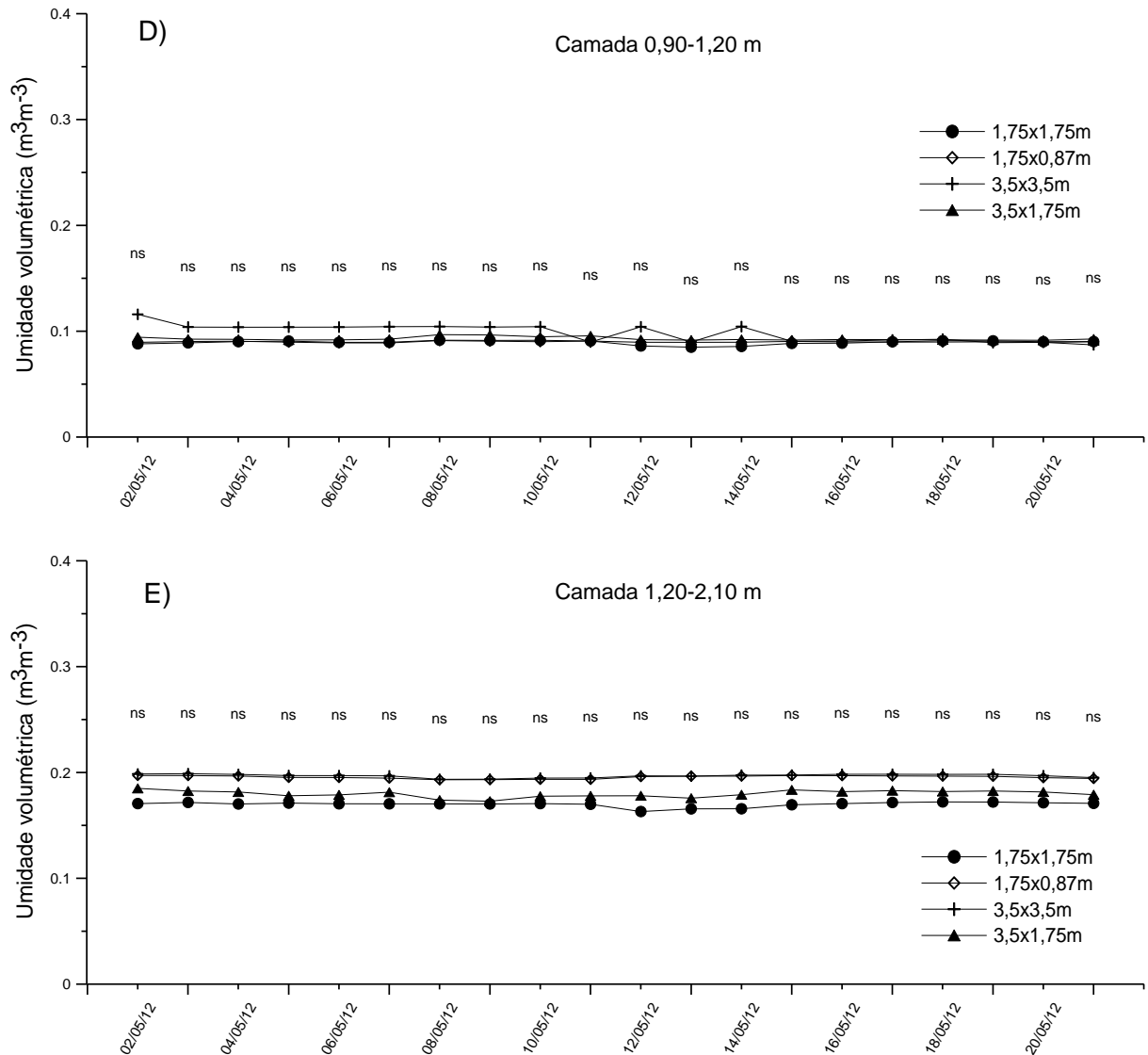


Figura 15 – Umidade volumétrica monitorada para os quatro tratamentos, referente ao mês de maio do ano de 2011: D) 0,90-1,20m; E) 1,20-2,10m.

Os dados dendrométricos apresentados na Tabela 4 foram medidos no mesmo período do monitoramento da água no solo. Observa-se que o incremento em área basal (G) é bem pequeno, devido, principalmente, ao fato de que grande parte da estação teve índices muito baixos de precipitação pluviométrica. O déficit de água para a planta interfere no crescimento e sobrevivência das mesmas, fazendo com que ocorra fechamento de estômatos, para evitar a perda excessiva de água, e algum aprofundamento de raízes em busca locais que tenham água armazenada.

Tabela 4 – Dados dendrométricos medidos aos 36 e 42 meses em eucalipto.

IDADE	36 MESES			42 MESES		
	MÉDIAS					
TRAT	H (m)	DAP (m)	G (m <sup>2</sup> )	H (m)	DAP (m)	G (m <sup>2</sup> )
<b>T1 (3,50x3,50m)</b>	8.04	11.77	0.0123	9.96	13.20	0.0155
<b>T2 (3,50x1,75m)</b>	8.49	10.29	0.0100	8.61	11.56	0.0121
<b>T3 (1,75x1,75m)</b>	9.29	8.17	0.0062	11.63	8.98	0.0073
<b>T4 (1,75x0,87m)</b>	9.06	6.92	0.0047	11.20	7.55	0.0056

TRAT: tratamento; H: altura (m); DAP: diâmetro a altura do peito (m); G: área basal (m<sup>2</sup>).



## 7 CONCLUSÃO

Após seis meses de monitoramento do conteúdo de água no solo pode-se concluir que períodos prolongados de estiagem afetam o crescimento e desenvolvimento de plantios florestais.

Por isso, para locais onde a manutenção de maior disponibilidade de água no solo é importante, recomenda-se que o cultivo do eucalipto seja feito em menores densidades populacionais.

Maiores conteúdos de água são observados em tratamentos com densidade populacional menor isso acontece, principalmente, em decorrência do aumento da precipitação pluviométrica interna nessas situações.

Na idade do povoamento em que foram efetuadas as avaliações, o crescimento do eucalipto parece ser mais dependente da água retida na camada de solo compreendida entre 30 e 180 cm.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011**. Brasília. 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre o uso da água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta umbrófila densa (Mata Atlântica). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 159-170, mar./abr. 2003.

ARAÚJO NETO, M. D. Métodos de medição da água no solo: Uma breve discussão. **Geonomos**, v. 2, n. 2, p. 51-61, 1994.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **Influência do espaçamento de plantio na produtividade das florestas de *Eucalyptus***. Piracicaba: IPEF, 1980. 16p. (Série Técnica, v. 1, n. 3).

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

BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. **Relações solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. 330p.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smit sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008

CARVALHO, A. J. A. et al. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, vol.2, n.2. p. 941-944. 2007.

CHAVES, M. M.; MAROCO J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p.239-264, 2003.

COELHO, F. S; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p.

COELHO, E. F.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, p. 2007 – 2016, 1996.

COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; FILHO, M.A.C. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.475-480, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG

COELHO, E.F. et al. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 23-30, 2006.

CONCIANI, W. et al. O uso da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) para determinação da umidade do solo in situ. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, v. 19, p. 189-199, 1996.

CONCIANI, W.; CARNEIRO B.J.; SOARES, M.M.; HERMANN, P.S.P.; CRESTANA, S. Emprego de TDR com sondas multi-hastes segmentadas para medida de umidade de um perfil de solo. In: **Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, 1, 1997, São Carlos, Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1997. p.169-173.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EVETT, S. R. Soil Water Measurement by Time Domain Reflectometry. **Encyclopedia of Water Science**, Marcel Dekker, Inc. New York. p. 894-898. 2003.

FAO. **El eucalipto en la repoblación forestal**. Roma, 1981. 303p.

FELLNER-FELDEGG, J. The measurement of dielectrics in the time domain. **Journal of Physical Chemistry**, Washington , v.73, p 616-623, 1969.

FLEXAS, J. et al. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 461-471, 2002.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS.** 2000. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GARZELLA, T. C.; MOLIN, J. P. **Calibração em campo de um TDR para determinação de umidade.** 2004. 14 p. – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2004.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.1, p.1-17, 1980.

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

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal.** Porto Alegre: JÁ Editores. 2006. 127 p.

HERRMANN JÚNIOR, P. S. P. **Construção de um equipamento para medida de umidade do solo através de técnica de microondas.** São Carlos: USP, 1993, 124 p. Dissertação de Mestrado.

IPEF. **Fibra. Jornal da Cenibra**, n. 217, São Paulo, Nov. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/eucaliptoegua.asp>>. Acesso em: 22 de mar. 2010.

KAISER, D.R. et al. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.649-658, 2010.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants and soils.** New York, Academic Press, 1983. 489p.

LACERDA, R.D. et al. Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 5, n. 1, 2005.

LEDIEU, J. et al. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 88, p. 319-328, 1986.

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

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE: Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística (Ed.). **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113-150.

LIBARDI, P. L. III - Água no solo. JONG VAN LIER, Q. (ed.). **Física do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

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. Série Técnica IPEF, v.10, n. 29, p.11-21, 1996.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110 p.

MELLO, F. A. F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, SP. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 112 p. 2000.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

NEPOMUCENO, A. L. et al. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biociência**, Brasília, n. 23, p. 12-18, 2001.

NETO, O. B. Sacramento. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente-MG**. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa, MG, 2001.

OTTO, S.R.L.; ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.265-269, 2001 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

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

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 119-138, julho/dez. 1990.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo**. 120p. Tese (Doutorado em Engenharia Floresta). Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Santa Maria, RS, 2012.

PRYOR, L. D. Eucalyptus in plantations - Present and future. **FAO World Symposium on man-made forest and their industrial importance**. Canberra, Austrália, v. 2, p. 993-1008, 1967.

QUADROS, F. L. F. de; PILLAR, V. P. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 119-138, julho/dez. 1990.

RAMBO, B. A. **Fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3. ed. São Leopoldo: UNISINOS. 2005. 473 p.

RIGATO, M. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.

ROSA, S. F. da. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus spp.*** 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Santa Maria, RS, 2010.

SOUZA, C. C. de. **Avaliação de métodos de água disponível em diferentes solos na cultura do algodoeiro herbáceo**. Areia-PB: CCA/UFPB, 199. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal da Paraíba.

SOUZA, C. F. et al. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Revista Irriga, Botucatu**, v. 11, p. 12-25, 2006.

SILVA, I. O. **Desenvolvimento de um sensor capacitivo para monitoramento de umidade do solo**. 86 f. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005.

SILVA, J. C. Eucalipto – A madeira do futuro. **Revista da Madeira**. Curitiba, PR. 114 p. set. 2001. Edição nº 59.

STONEMAN, G.L. & SCHOFIELD, N.J. Silviculture for water production in jarrah forest of Western Austrália: an evaluation. **Forest Ecology Management**, v.27, p. 273-293, 1989.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 136 f. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.

TIMM, L. C. et al. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agricola**. 2006, v. 63, n.1, p.55-64.

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, v. 29, n. 2, p. 161-168, 2005.

TEIXEIRA, W.G. et al. Sampling and TDR probe insertion in the determination of the volumetric soil water. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 575-582, 2003.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de reflectometria de microondas para dois solos paulistas típicos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 25, 1995, Viçosa. Anais: SBCS, 1995, v. 1, p. 24-26.

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

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul.** 2003. 289 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v. 16, n. 3, p. 576-583, 1980.

TRINTINALHA, M.A. et al. Efeito da instalação e da variabilidade entre sondas no uso da técnica de TDR em um Nitossolo Vermelho Distroférico. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1165-1171, 2001.

TURNBULL, J. K.; PRYOR, L. D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production.** Melbourne: CSIRO Australia/Academic Press, 1984. 434 p.

VALE, F. R. **Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*).** Viçosa, MG. UFV, 1982. 71p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.

VELLINI, A. L. T. T. **Desempenho e divergência genética entre clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação.** 2007. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

WHALLEY, W. R. et al. In-field calibration of a dielectric soil moisture meter designed for use in an access tube. **Soil Use and Management**, v. 20, n. 2, p. 203-206, 2004.