

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

**BALANÇO HÍDRICO EM POVOAMENTO DE  
EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES DE  
PLANTAS EM ARGISSOLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Claudine Ohana Barcellos Consensa**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

**BALANÇO HÍDRICO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO  
COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM  
ARGISSOLO**

**Claudine Ohana Barcellos Consensa**

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: PhD. Dalvan José Reinert**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Consensa, Claudine Ohana Barcellos  
Balanço hídrico em povoamento de eucalipto com  
diferentes densidades de plantas em argissolo / Claudine  
Ohana Barcellos Consensa.-2015.  
96 f.; 30cm

Orientador: Dalvan José Reinert  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015

1. Espaçamento entre árvores 2. Umidade no solo 3.  
Balanço hídrico 4. Eucalyptus dunnii 5. Bioma Pampa I.  
Reinert, Dalvan José II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Claudine Ohana Barcellos Consensa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: claudineohana@gmail.com

---

**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

**BALANÇO HÍDRICO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO  
COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM  
ARGISSOLO**

elaborada por  
**Claudine Ohana Barcellos Consensa**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Dalvan José Reinert, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Paulo Ivonir Gubiani, Prof. (UFSM)**

---

**Eduardo Saldanha Vogelmann, Prof. (FURG)**

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2015.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço:*

Primeiramente a Deus, por fornecer a força necessária para continuar lutando, em busca dos meus sonhos.

Ao meu orientador Dalvan José Reinert pela oportunidade, companheirismo, ensinamentos, paciência e também pela confiança em mim depositada.

Aos meus pais, Clândio e Marilene, por acreditar em mim e estar do meu lado em todas as horas, pelo exemplo de dedicação e perseverança, carinho e amor.

Ao meu namorado e amigo Mateus, agradeço pelo apoio e incentivo em todas as etapas deste trabalho, sobretudo, pelo amor incondicional que me dá forças para superar obstáculos.

Às minhas irmãs Catarine e Francieli, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e superaram todos os meus momentos de angústia e minha ausência.

Aos meus sobrinhos, Gabriel, Bernardo e Maria Alice, meus anjinhos, que com seus sorrisos e inocentes palavras fazem com que cada instante da minha vida seja mais feliz e abençoada.

A Juliana Prevedello, foi muito bom trabalhar contigo, uma grande companheira. Obrigada pelo incentivo de sempre.

Não posso esquecer meu agradecimento, a todos bolsistas de iniciação científica, pela dedicação e empenho durante toda a pesquisa, vocês foram indispensáveis.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação: Evandro, André, Alan, Daiane, Cristina, Júlio, Régis, Lucas, Fabiano, Leandro, Anderson, Eduardo, Elói, Pierre, Jean e John, obrigada pela ajuda na realização deste trabalho, pelo carinho e amizade.

Aos professores: Frederico Dimas Fleig e Paulo Ivonir Gubiani, muitos foram os seus ensinamentos.

Ao técnico de laboratório Flávio Fontinelli, pelos valiosos ensinamentos, paciência e amizade.

À CAPES pelo auxílio para que esta pesquisa fosse possível.

Enfim agradeço à todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento e a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

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

### **BALANÇO HÍDRICO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM ARGISSOLO**

AUTOR: CLAUDINE OHANA BARCELLOS CONSENSA

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2015.

As plantações de eucalipto vêm aumentando significativamente nos últimos tempos, porém a produtividade das florestas são muito sensíveis à disponibilidade de recursos naturais como água, nutrientes e luz. Com o objetivo de avaliar a dinâmica da água e caracterizar os fluxos hídricos no solo em uma povoamento de eucalipto em substituição à vegetação de campo nativo, realizou-se um estudo no município de São Francisco de Assis, Rs, localizado no Bioma Pampa. Foram avaliadas diferentes densidades populacionais: 3,5x3,5m; 3,5x1,75m 1,75x1,75m; 1,75x0,75m. Durante o período de um ano foram avaliados a distribuição da precipitação global em precipitação interna, o escoamento pelo tronco, as perdas por interceptação do dossel, bem como o conteúdo volumétrico de água no solo. Três pluviômetros foram instalados na área de campo para medir e coletar a precipitação global. Para medir a precipitação interna, 36 pluviômetros foram instalados no interior do plantio e 36 coletores foram utilizados (em árvores selecionadas) para determinar o escoamento pelo tronco. O conteúdo volumétrico de água do solo foi monitorado continuamente até a profundidade de 2,10m, utilizando-se sondas e TDR automatizado. A evapotranspiração das árvores foi determinada pela equação do balanço hídrico, através do método da conservação de massas. A relação entre o incremento da biomassa aérea e o volume de água evapotranspirada nos diferentes espaçamentos de plantio, permitiu estimar a eficiência do uso da água pelas árvores de eucalipto. A precipitação efetiva é maior em espaçamentos mais adensados, em função da maior entrada de água pelo escoamento pelo tronco, o que resulta em menor interceptação pelas copas das árvores. A taxa de interceptação é menor em precipitações maiores e diminui com o aumento da densidade de árvores no povoamento. A evapotranspiração média variou de 4,0 a 4,5mm/dia, com valores muito próximos entre os diferentes espaçamentos sendo reduzida nas épocas de menor precipitação. Não houve nenhum efeito adverso sobre os recursos hídricos e o regime da água do solo em decorrência do reflorestamento de eucalipto em substituição da vegetação herbácea natural no Bioma Pampa, comprovado pelo conteúdo de água no solo, nunca foi inferior ao valor do ponto de murcha permanente (1,5Mpa). O uso eficiente da água para *Eucalyptus dunnii* de 6 anos de idade na região do Bioma Pampa varia de 3,27 a 2,40 g L<sup>-1</sup>, com os maiores valores no espaçamento mais amplo.

**Palavras-chave:** Espaçamento entre árvores. Umidade no solo. Balanço hídrico. *Eucalyptus dunnii*. Bioma Pampa.

## ABSTRACT

Master's Dissertation  
Post-Graduation Program in Forest Engineering  
Rural Science Center  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### WATER BALANCE IN EUCALYPTUS STAND WITH DIFFERENT PLANT DENSITIES IN A HAPLUDALF

AUTHOR: CLAUDINE OHANA BARCELLOS CONSENSA

ADVISOR: PHD. DALVAN JOSÉ REINERT

Date and Place of Discussion: Santa Maria, Jeveiro 28<sup>th</sup>, 2015.

Eucalyptus plantations have increased significantly in recent times, but the productivity of forests are very sensitive to the availability of natural resources such as water, nutrients and light. In order to assess the water dynamics and characterize water flows in soil in a eucalyptus plantation in replacement of native grassland, there was a study in the city of São Francisco de Assis, RS, located in the “Bioma Pampa. Different densities were evaluated: 3,5x3,5m; 3,5x1,75m; 1,75x1,75m and 1,75x0,75m. The overall distribution of rainfall internal precipitation, straining the trunk interception losses of the canopy the and soil volumetric water content were evaluated during a period of one year. Three pluviometers were installed in the field area to measure and collect global precipitation. To measure the internal precipitation, 36 pluviometers were installed inside the plantation and 36 collectors were used (in selected trees) to determine the stemflow. The soil volumetric water content was monitored continuously to a depth of 2.10 m, using an automated TDR. The evapotranspiration was determined by the water balance equation, using the mass conservation method. The relationship between the biomass increase and the water amount transpired in different planting spacing, allow estimating the efficiency of water use by eucalyptus trees. The effective rainfall is higher in a narrower spacing plant, due to the increased water intake by stemflow, which results in lower treetop interception. The interception rate is lower in higher rainfall and decreases with increasing density of trees in the settlement. The average evapotranspiration ranged from 4.0 to 4.5 mm day<sup>-1</sup>, with similar values among different planting spacings and is reduced in low-rainfall periods. There were no adverse effects on water resources and soil water regime due to the eucalyptus replacing natural herbaceous vegetation reforestation in Pampa Biome, evidenced by the soil water content that never was less than the value of permanent wilting point (1.5MPa). The water efficient use of *Eucalyptus dunnii* with 6 years old in the “Pampa biome” region varies from 3.27 to 2.40 g L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Spacing between trees. Soil moisture. Hydric balance. *Eucalyptus dunnii*. Pampa Biome.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico. ....	22
Figura 2 - Localização do município de São Francisco de Assis.....	29
Figura 3 - Localização do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> , na Fazenda Cerro do Jacaquá, São Francisco de Assis-RS, Brasil. ....	30
Figura 4 - Croqui da área experimental em São Francisco de Assis-RS, Brasil.....	31
Figura 5- Permeâmetro de carga constante utilizado nas medições de condutividade hidráulica do solo saturado.....	34
Figura 6 - Esquema da instalação das sondas no perfil do solo e da sonda utilizada. ....	36
Figura 7 - a) Pluviômetro automático; b) Pluviômetro manual. ....	38
Figura 8 - Pluviômetros lineares distribuídos no interior do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	39
Figura 9 - Instalação dos coletores de escoamento de água pelo tronco no plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	41
Figura 10 - Calha de coleta do escoamento superficial de água no solo.....	42
Figura 11 - a) Desgalhamento da árvore-amostra; b) Cubagem pelo método de Smalian; c) Separação do tronco em toretes; d) Separação dos galhos e folhas; e) Pesagem total dos galhos e folhas; f) Pesagem dos toretes. ....	46
Figura 12 - Relação entre a Precipitação total (Pt) e a Precipitação interna (Pi) em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> . a) espaçamento de 3,5x3,5m; b) 3,5x1,75m; c) 1,75x1,75m e d) 1,75x0,75 m entre árvores. São Francisco de Assis, RS.....	53
Figura 13 - Precipitação total e Escoamento pelo tronco em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> , a) espaçamento de 3,5x3,5m; b) espaçamento de 3,5x1,75m; c) espaçamento de 1,75x1,75m e d) espaçamento de 1,75x0,75m. São Francisco de Assis, RS.....	57
Figura 14 - Quantitativos relativos anuais (%) da Precipitação total (Pt), da precipitação Efetiva (Pe = precipitação interna (Pi) + escoamento pelo tronco (EscT)), Interceptação (I = Pt - Pe), em povoamento de	

<i>Eucalyptus dunnii</i> sob diferentes espaçamentos de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. São Francisco de Assis-RS.....	63
Figura 15 - Valores médios acumulados da variação da precipitação total (mm), conteúdo de água no solo (mm), armazenamento de água no solo (mm) para o perfil de 2,30m de profundidade, percolação profunda (mm) e evapotranspiração (mm) para o período de avaliação. ....	65
Figura 16 - Resumo da diferença entre a precipitação total incidente (Pt) e a soma da evapotranspiração (ET) e interceptação (I) em povoamento de <i>E. dunnii</i> , nas diferentes densidades de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. ....	67
Figura 17 - Eficiência do uso da água nos diferentes espaçamentos de plantio de <i>E. dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS. ....	71
Figura 18 - Umidade volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) e precipitação (mm) no período de Agosto a Setembro de 2014, nas camadas de solo (a) 0,00 a 0,30 m; (b) 0,30 a 0,60 m; (c) 0,60 a 0,90 m e (d) 0,90 a 1,20 m nos diferentes espaçamentos de plantio para <i>E. dunnii</i> . São Francisco de Assis – RS.....	74
Figura 19 - Umidade volumétrica (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) e precipitação (mm) no período de Agosto a Setembro de 2014, nas camadas de solo (a) 1,20 a 1,50 m; (b) 1,50 a 1,80 m; (c) 1,80 a 2,10 m nos diferentes espaçamentos de plantio para <i>E. dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS.....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos tratamentos utilizados.....	31
Tabela 2 - Médias de Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), Porosidade total do solo (PT) e condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) de um Argissolo em área de eucalipto no Bioma Pampa do RS. São Francisco de Assis. 2014.....	48
Tabela 3 - Correlação entre a distribuição do diâmetro de poros e as propriedades físicas do solo em Argissolo em área de eucalipto no Bioma Pampa do RS. São Francisco de Assis. 2014. ....	50
Tabela 4 - Precipitação total (Pt) e precipitação interna (Pi) em um povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS.....	52
Tabela 5 - Escoamento pelo tronco (EscT) em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS.....	55
Tabela 6 - Interceptação pela copa das árvores (I) em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS.....	59
Tabela 7 - Escoamento superficial da água da chuva no solo em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> . São Francisco de Assis-RS.....	61
Tabela 8 - Evapotranspiração media acumulada? (mm) e evapotranspiração diária (mm dia-1) em povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> , sob diferentes espaçamentos de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. São Francisco de Assis-RS.....	66
Tabela 9 - Características dendrométricas e biomassa seca acima do solo do povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> , sob diferentes espaçamentos de plantio. São Francisco de Assis-RS.....	69
Tabela 10 - Correlação de Pearson entre os parâmetros da redistribuição da chuva e biomassa aérea de eucalipto.....	70

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 1. São Francisco de Assis, RS. ....	93
Apêndice B - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 2. São Francisco de Assis, RS. ....	94
Apêndice C - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 3. São Francisco de Assis, RS. ....	95
Apêndice D Perfis de solo avaliados. São Francisco de Assis, RS.....	96

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Hipóteses</b> .....	15
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>O gênero Eucalyptus e o uso da água</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Espaçamento de plantio</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Balanco hídrico</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>O papel da cobertura florestal no ciclo hidrológico</b> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Interceptação da precipitação pluvial pelo dossel</b> .....	23
<b>2.6</b>	<b>Evapotranspiração</b> .....	25
<b>2.7</b>	<b>Dinâmica da água no solo</b> .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
<b>3.1</b>	<b>Área do estudo, tratamentos e delineamento experimental</b> .....	29
<b>3.2</b>	<b>Avaliações físico-hídricas do solo</b> .....	32
3.2.1	Densidade do solo, porosidade e curva de retenção de água .....	32
3.2.2	Condutividade hidráulica do solo saturado.....	34
3.2.3	Análise granulométrica do solo .....	35
3.2.4	Umidade e armazenamento da água no solo .....	35
<b>3.3</b>	<b>Monitoramento das variáveis hidrológicas</b> .....	37
3.3.1	Precipitação .....	37
3.3.2	Precipitação Interna .....	38
3.3.3	Escoamento de água pelo tronco (EscT) .....	40
3.3.4	Interceptação .....	41
3.3.5	Perda de água por escoamento superficial .....	42
3.3.6	Perda ou ganho de água por fluxo interno no solo .....	43
<b>3.4</b>	<b>Balanco hídrico no solo</b> .....	44
<b>3.5</b>	<b>Quantificação da biomassa aérea e Eficiência do Uso da Água</b> .....	45
<b>3.6</b>	<b>Análise estatística</b> .....	47

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização das propriedades físico-hídricas do solo</b>	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b>Redistribuição da chuva no eucalipto</b>	<b>51</b>
4.2.1	Precipitação total e Precipitação interna	51
4.2.2	Escoamento pelo tronco	54
4.2.3	Interceptação pela copa das árvores	58
4.2.4	Escoamento Superficial de água no solo	60
<b>4.3</b>	<b>Fluxo de água que atinge o solo</b>	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>Varição do conteúdo de água no solo, armazenamento de água no solo, ascensão capilar ou drenagem profunda e Evapotranspiração calculada por meio da conservação de massas</b>	<b>63</b>
<b>4.5</b>	<b>Avaliação do crescimento da floresta e biomassa acima do solo</b>	<b>68</b>
<b>4.6</b>	<b>Eficiência do uso da água (EUA)</b>	<b>70</b>
<b>4.7</b>	<b>Retenção e dinâmica da água no solo</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As plantações de eucalipto vêm aumentando significativamente nos últimos tempos, estando agora estabelecidas em mais de 20 milhões de hectares em todo o mundo (FAO, 2013). Estas plantações fornecem madeira, serviços ambientais, são fonte de energia renovável (BAUHUS et al., 2010) e se destacam no cenário socioeconômico do Brasil, pela geração de renda, tributos, divisas e empregos. A escolha por este gênero é justificada pela sua alta produtividade e adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima (GONÇALVES et al., 2002). Algumas espécies de *Eucalyptus* spp. podem suportar solos com elevada acidez, com baixa fertilidade e regime hídrico irregular (GOMES, 1994).

Porém, a produtividade é muito sensível à disponibilidade de recursos naturais como água, nutrientes e luz (LITTON et al., 2007) e, portanto, características que afetam o uso destes recursos pelas árvores influenciam diretamente no crescimento das plantas. Dentre estes, a água é um dos fatores de produção mais importantes pois interage na maior parte dos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Dessa forma, a limitação de água inibe o acesso aos recursos naturais necessários para a realização da fotossíntese pela planta, devido ao fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, redução do transporte de água dentro da planta (BRÉDA et al., 2006). Assim, provocam alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas para que as mesmas consigam tolerar o estresse hídrico (BLACKMAN et al., 2009; MITCHELL et al., 2013).

Em substituição à vegetação nativa, a introdução de espécies florestais de rápido crescimento como o eucalipto promovem alterações no ecossistema local, sobretudo, nos recursos hídricos e no solo. A expansibilidade de uso da terra e a transformação da paisagem por plantações de eucalipto no Rio Grande do Sul, principalmente na região do Bioma Pampa, têm provocando inúmeras discussões sobre os possíveis impactos que essas florestas podem provocar principalmente no que diz respeito à utilização dos recursos naturais, sobretudo em relação ao consumo de água (JACKSON et al., 2005; LIMA, 2006).

Ao manejar um povoamento florestal, é importante considerar todos os fatores que influenciam no crescimento das árvores, de tal maneira que seja aproveitada ao

máximo a capacidade produtiva do sítio. Dessa forma, a utilização de técnicas silviculturais, como a adubação (NOVAIS et al. 1990), a escolha do espaçamento de plantio adequado (GOMES, 1994) e controle de plantas daninhas (SILVA, 1993), possibilitarão uma eficiente utilização dos recursos naturais. Nesse sentido ressaltasse a importância da escolha correta do espaçamento de plantio, e este deve ser determinado em função da qualidade do sítio, considerando a disponibilidade de água e fertilidade, além de levar em consideração o produto final desejado (TONINI, 2003). O espaçamento tem uma série de implicações silviculturais, pois pode afetar as taxas de crescimentos das plantas, a qualidade da madeira e a idade de corte. Também tem efeito sob o regime hídrico do solo, principalmente com relação às diferenças na quantidade de água transpirada, na interceptação de chuva pela copa e na taxa de infiltração de água no solo.

Tratando-se do efeito de povoamentos florestais sob o regime hídrico, Tucci (2002) expõe que, na existência de uma cobertura florestal, parte da precipitação é interceptada sob as folhas, sendo parte dela subseqüentemente redistribuída, o que atenua a intensidade com que a precipitação atinge o solo, tendendo a diminuir a sua compactação, processos erosivos, e escoamento superficial além de favorecer a infiltração da água no solo (SARI, 2011). No entanto, é de fundamental importância o conhecimento do ciclo hidrológico em florestas para que essas sejam manejadas convenientemente.

## **1.1 Hipóteses**

- 1) Os povoamentos de eucalipto implantados em espaçamentos mais adensados interferem na entrada de água da chuva, por apresentar maior desenvolvimento de biomassa total, reduzindo os fluxos de entrada e saída de água precipitada em floresta de eucalipto;
- 2) A eficiência do uso da água em floresta de eucalipto é maior em povoamentos menos adensados, uma vez que as árvores possuem um melhor desenvolvimento individual.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a dinâmica da água e caracterizar os fluxos hídricos no solo em uma plantação de eucalipto, visando quantificar o armazenamento, disponibilidade de água, consumo diferencial da água do solo através da determinação das taxas de transpiração, crescimento e eficiência do uso da água em *Eucalyptus dunnii* plantado sob diferentes condições de densidade populacionais em um Argissolo de textura arenosa cultivado no Bioma Pampa, no Estado do Rio Grande do Sul.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- avaliar e quantificar a distribuição da água da chuva em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* pelos fluxos de precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação foliar;
- verificar qual a influência que a quantidade de biomassa, dependente da densidade de plantas no povoamento, provoca nos fluxos de entrada e saída de água precipitada em floresta de eucalipto;
- avaliar as propriedades físico-hídricas de um Argissolo de textura arenosa cultivado com *Eucalyptus dunnii* e relacionar com a dinâmica da água no solo;
- estimar o balanço hídrico, através do cálculo da evapotranspiração da cultura pelo método de conservação de massas;
- avaliar e quantificar a eficiência do uso da água pelas diferentes densidades populacionais de eucalipto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O gênero *Eucalyptus* e o uso da água

O *Eucalyptus* spp. é uma espécie arbórea pertencente à família das Mirtáceas, e possui como centro de origem, principalmente, a Austrália (ELDRIDGE et al., 1993). Segundo Gonzalez et al. (2011) existem aproximadamente 700 espécies conhecidas e adaptadas a diversas condições de solo e clima. No Brasil, seu cultivo em escala econômica deu-se a partir de 1904, com o trabalho do Agrônomo silvicultor Edmundo Navarro de Andrade com o objetivo de atender a demanda da antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro (BERTOLA, 2002) e, no Rio Grande do Sul foram plantadas as primeiras mudas em 1968.

O gênero *Eucalyptus* é de grande importância econômica, ambiental e social para o Brasil. Os plantios de eucalipto são as principais fontes de abastecimento das indústrias que consomem matéria prima florestal, especialmente pelas diversas vantagens que apresentam, como rápido crescimento, produtividade e potencialidade para produzir árvores com boa forma; grande diversidade de espécies, adaptando-se às mais diversas condições edafoclimáticas; elevada produção de sementes e facilidades de propagação vegetativa; adequação aos mais diferentes usos industriais, com ampla aceitação no mercado (MORA; GARCIA, 2000; BERTOLA, 2002).

Apesar das vantagens apresentadas, há controvérsias em relação ao papel desempenhado pelo eucalipto e os possíveis impactos sobre a conservação dos recursos naturais, especialmente sobre o consumo de água (LIMA, 2006; VAN DIJK; KEENAN, 2007). Críticas frequentemente apontam um desequilíbrio do meio ambiente devido ao secamento e empobrecimento do solo e formação de áreas em deserto verde e devido ao avanço da monocultura do eucalipto (ALMEIDA; SOARES, 2003; BERTOLA, 2007). Porém, estudos mostram que o eucalipto não difere sistematicamente no consumo de água comparado às demais culturas. A cana de açúcar apresenta um consumo de água de 1000-2000 mm ano<sup>-1</sup>, o café 800-1200 mm ano<sup>-1</sup>, o *citrus* de 600-1200 mm ano<sup>-1</sup> e o eucalipto de 800-1200 mm ano<sup>-1</sup>,

constatando-se que o consumo é similar ao cultivo do café e inferior ao cultivo da cana-de-açúcar (CALDER et al., 1992; LIMA, 1992).

Pesquisas efetuadas em áreas de plantios com eucalipto, localizadas no sudeste e sul do Brasil, indicam que o consumo de água não é diferente do que ocorre nas áreas de vegetação nativa, ou mesmo em outras culturas (ALMEIDA; SOARES, 2003; CARNEIRO et al., 2008). Entretanto, Lima (2010) afirmou que em condições ou em regiões onde o suprimento natural de água já é restrito, qualquer alteração não planejada da paisagem, como a substituição de vegetação rasteira por florestas, pode resultar num aumento do consumo de água. As plantações florestais com espécies de rápido crescimento apresentam também, maiores consumos de água, em comparação com vegetação de menor porte, bem como com floresta natural ou plantações com espécies de crescimento lento. Como resultado, em algumas situações pode-se observar redução significativa do deflúvio na escala de bacia hidrográfica.

Outra forma de analisar a resposta dos cultivos a diferentes condições de disponibilidade de água é a utilização de indicadores da eficiência do uso de água, pois relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (STAPE et al., 2004). Comparando a produção de biomassa por litro de água utilizado, constata-se que o eucalipto é um dos mais eficientes produtores de biomassa (IPEF, 2003).

O consumo e a eficiência do uso da água em mudas de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis* foi avaliado por Silva (2004), que observou que ambas as espécies apresentam diversos mecanismos que economizam água, tais como a presença de tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea. Whitehead e Beadle (2004), 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, concluem que o eucalipto é uma espécie florestal 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) afirma que o eucalipto é uma espécie florestal que funciona exatamente como outras espécies em termos de fisiologia, hidrologia, limitações, potencialidades e interações ecológicas, uma vez que possui os mesmos mecanismos fisiológicos que regulam a

transpiração, sendo o consumo de água regulado principalmente pela disponibilidade de água no solo e pelas condições climáticas que governam o processo de evaporação.

## **2.2 Espaçamento de plantio**

Um dos principais aspectos envolvidos no manejo florestal refere-se à correta escolha da densidade de árvores por unidade de área. De acordo com Schneider (1993), a densidade do povoamento, depois da capacidade produtiva do sítio, é o segundo fator em importância para a determinação da produtividade de um local e, além disso, é o principal fator que o silvicultor pode manejar durante o desenvolvimento dos povoamentos florestais. Para Scolforo (1997), a definição do espaçamento de plantio é um dos pontos do planejamento de implantação de uma floresta, devendo este 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 as espécies, as quais apresentam diferentes comportamentos dependendo do local e do objetivo de produção, ou seja, o uso futuro da madeira a ser produzida (TONINI, 2003). Porém, Balloni e Simões (1980) relatam que geralmente, a decisão de um espaçamento é definida pelos objetivos econômicos da empresa ou produtor florestal, ignorando-se os fatores ecológicos ou silviculturais de suma importância, como a competição por luz, umidade e nutrientes, sendo influenciados pela quantidade de troncos por unidade de área.

O espaçamento ótimo é aquele capaz de fornecer o maior volume da madeira em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado (PATIÑO-VALERA, 1986). Entretanto, a produtividade é determinada pela disponibilidade de recursos naturais e condições ambientais que controlam os processos fisiológicos da planta (LARCHER, 1980; KOZLOWSKI et al., 1991), sendo estas condições muito afetadas pela competição entre plantas. De acordo com Radosevich e Osteryoung (1987) a limitação de um determinado recurso depende da sua indisponibilidade, suprimento inadequado ou competição com as plantas vizinhas, limitando o desenvolvimento do plantio.

Dessa forma, o espaçamento tem efeito expressivo na produtividade do povoamento, podendo afetar as taxas de crescimento das plantas, bem como a qualidade da madeira, idade de corte, práticas de exploração e, com isso, afeta indiretamente os custos de produção (BALLONI; SIMÕES,1980). Segundo Pinkard e Neilsen (2003), a maioria dos estudos sobre espaçamentos têm concluído que a produção total de madeira aumenta com o aumento da densidade. Ladeira et al. (2001), avaliando a produção de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla*, todos com 7 anos de idade em Minas Gerais, em três espaçamentos de plantio, verificaram que, com base na biomassa de lenho por hectare, o espaçamento mais adensado apresentou biomassa de 20,9 e 28,6% superior em relação aos demais espaçamentos. Porém, as diferenças iniciais de produção tornam-se cada vez menores com a idade, resultando numa produção equivalente por hectare em todos os espaçamentos (BERGER et al., 2002). Para Radosevich e Osteryoung (1987) este efeito corresponde à lei de produção final constata, que diz que com o tempo, há uma tendência de se ter a produção máxima por unidade de área similar para todas as densidades populacionais.

Um estudo com *Eucalyptus* sp. realizado por Guimarães (1957) testando diferentes espaçamentos, mostrou que as áreas mais povoadas apresentaram maior competição e maior mortalidade de árvores. Da mesma forma, Balloni e Simões (1980) observaram que a redução do espaçamento de plantio, proporcionou maior percentual de falhas e redução das variáveis individuais, como altura, diâmetro e volume por árvore, porém com aumento do volume por hectare. Estudos com *Eucalyptus grandis* com 7,4 anos de idade no sul da Flórida, realizado por Meskimen e Franklin (1978), revelaram que o volume de árvores comercializáveis foi quase o mesmo nos diferentes espaçamentos, entretanto, o volume total das árvores foi 1,7 vezes maior no espaçamento mais fechado, do que nos dois espaçamentos mais amplos.

Além do efeito na produtividade, a densidade populacional de plantas influencia também o regime hídrico do solo, principalmente no efeito sobre a quantidade da precipitação que é interceptada pela copa, as diferenças na quantidade de água transpirada e a taxa de infiltração de água no solo. Stoneman e Schofield (1989) relatam que a redução da densidade populacional é uma das maneiras utilizadas para aumentar o deflúvio. 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, verificou tendência de ocorrer maior condutância estomática e maior taxa de transpiração nas plantas sob espaçamentos mais amplos.

Segundo Leite et al. (1999), a redução da densidade populacional tende a aumentar o conteúdo de água no solo. Trabulsi (2011) estudando as relações hídricas no solo em função de diferentes espaçamentos de plantio em povoamento de *Eucalyptus urogradis*, observou que os maiores valores de umidade do solo foram encontrados no maior espaçamento, tanto para o período seco quanto o chuvoso.

### 2.3 Balanço hídrico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar; assim, a água não se perde no sistema, ela é constantemente renovada. Este ciclo envolve uma série de processos hidrológicos complexos e é influenciado diretamente por inúmeros fatores, sendo a vegetação um dos principais, pois interfere na dinâmica e na manutenção dos aquíferos (KOBAYAMA, 1999). Além disso, a floresta desempenha papel importante na distribuição da energia e da água na superfície do solo, influenciando nos processos que compõem o balanço hídrico, como: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial (NETO, 2001) (Figura 1).

Muitos estudos apontam a influência no ciclo hidrológico pela substituição da vegetação natural por plantações florestais. E para que se possa identificar esta influência é necessário levar em conta todas as interações de forma integrada (LIMA, 2008), considerando o balanço hídrico como um somatório das quantidades de água que entram e saem do sistema em um volume de solo e, num dado intervalo de tempo, o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece. Assim a influência dos plantios florestais no balanço hídrico pode ser descrita pela equação da continuidade: água que sai = água que entra – água retida.

As trocas de água no sistema solo-planta-atmosfera são dirigidas por uma série de processos que se inter-relacionam. Com exceção da precipitação, todos os processos são fortemente influenciados pela idade, população de árvores, estrutura do povoamento e arquitetura da copa e manejo adotado. Segundo Neto (2001), estes

fatores influenciam também as taxas de evapotranspiração, através da modificação da superfície transpirante e interceptação.

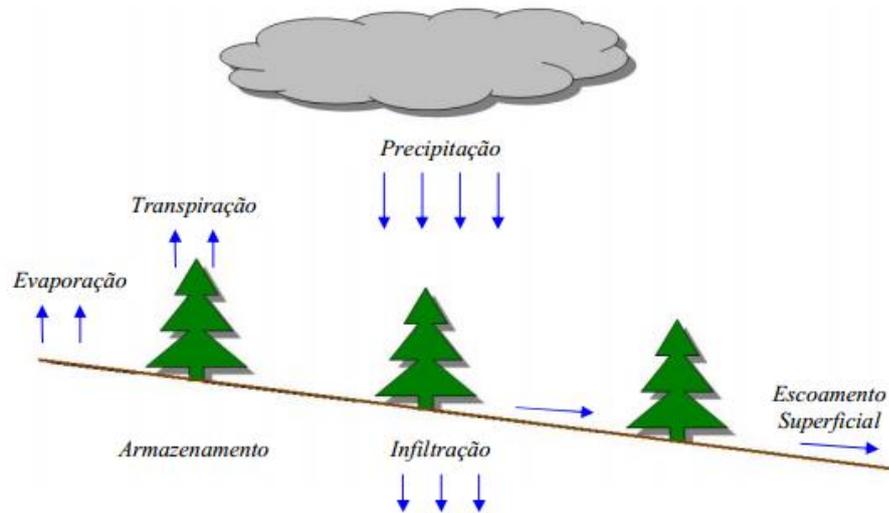


Figura 1 - Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico.

Fonte: Feltrin (2009).

Desta forma, o balanço hídrico é considerado como uma ferramenta importante para o estudo da distribuição espacial e temporal da água nas bacias hidrográficas, já que permite avaliar os processos e interações que nela ocorrem.

## 2.4 O papel da cobertura florestal no ciclo hidrológico

Na hidrologia, há o consenso geral indicando que, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão no rio (BOSCH; HEWLETT, 1982). Segundo Trimble et al. (1987) a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas ocorre em função do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração (interceptação + transpiração), sendo a redução maior nos anos secos do que nos chuvosos.

Para Arcova et al. (2003) a cobertura florestal mantém estreita relação com o ciclo hidrológico, interferindo na distribuição de energia e água na superfície,

influenciando nos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão. A floresta atua neste ciclo reduzindo e retardando o movimento da água precipitada até a superfície do solo (CASTRO et al., 1983) através do processo de interceptação. E além do efeito da interceptação de parte de água da chuva, ocorre também o efeito da desaceleração da água da chuva que chega até a superfície do solo, reduzindo a força do impacto das gotas, o que reduz o escoamento superficial e favorece a infiltração de água no perfil do solo.

Desta forma, quando se comparam os efeitos do reflorestamento em áreas de campo nativo ou de pastagem, ou qualquer outra área de vegetação aberta, provavelmente ocorre uma redução da produção de água na bacia hidrográfica, de aproximadamente 20%, devido às perdas evaporativas pelo processo de interceptação das chuvas pela copas das árvores(LIMA, 1996).

## **2.5 Interceptação da precipitação pluvial pelo dossel**

Uma das principais influências da floresta no ciclo hidrológico ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de interceptação (ARCOVA et al., 2003). Portanto, nem toda a água da chuva pode ser contabilizada no incremento da umidade do solo, pois parte dessa água é interceptada pelo dossel ou pelo material vegetal depositado sobre o solo (BALIEIRO, 1999). Sem a presença da vegetação o processo de infiltração poderá diminuir, devido à compactação causada pelo impacto da gota da chuva, intensificando o escoamento superficial, causando erosão e podendo aumentar a vazão das bacias de drenagem. Assim a influência da floresta no recebimento e distribuição das chuvas no balanço hídrico de uma determinada bacia é significativo (LIMA, 2008).

A proporção da chuva interceptada depende principalmente das características da floresta e regimes pluviométricos, variando consideravelmente entre espécies. Lima (2008) descreve que em eventos de chuva de baixa intensidade, em torno de 5mm, quase toda a água será retida pelas copas das

árvores, sendo diretamente evaporada. A interceptação equivale à quantidade de chuva “gasta” para cobrir toda a superfície das folhas e, somente depois, ocorre o deslizamento da gota, que irá contribuir para a precipitação interna. Moura et al. (2009) enfatizam que precipitações inferiores a 3,5mm são totalmente interceptadas pela cobertura vegetal e devolvidas à atmosfera por evaporação.

Quando a quantidade de água precipitada que atinge as plantas for superior à capacidade de armazenamento da copa, observa-se o início do gotejamento através da copa, além do escoamento pelos ramos e tronco. A resultante das quantidades de água percolada pelos ramos e o escoamento pelo tronco ou caule, denomina-se de precipitação efetiva. Esta, quando subtraída da chuva total, representa a quantidade retida pela cobertura vegetal presente, chamada interceptação, que retorna à atmosfera via evaporação.

As características da floresta que podem afetar a interceptação da água da chuva são a capacidade de armazenamento do dossel; índice de área foliar (LAI), as lacunas no dossel; capacidade de armazenamento da vegetação arbustiva e ou regeneração; hidrofobicidade (repelência de água) de folha e madeira e a projeção das copas das árvores (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000). Muitas pesquisas relatam que as florestas de folhosas tem menores perdas por interceptação do que as florestas de coníferas; sendo explicado por características como menor albedo e maior rugosidade do dossel nas florestas de coníferas. Um estudo feito por Zhang et al. (1999) constata que o valor médio de interceptação em floresta de pinus foi igual a 28% da precipitação, enquanto que uma floresta de eucalipto interceptou apenas 14%.

A interceptação da chuva pela cobertura florestal pode ser quantificada através da equação 2 da continuidade do sistema de interceptação (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; TUCCI, 2007):

$$I = Pt - (Pi + EscT) \quad \text{“Eq. (1)”}$$

em que:  $I$  (mm) é a precipitação interceptada;  $Pt$  (mm) é a precipitação total incidente;  $Pi$  (mm) é a precipitação interna, ou seja, que atravessa a vegetação e  $EscT$  (mm) é a parcela da precipitação que escorre pelo tronco.

Na equação 2, a quantidade de água interceptada é medida através da drenagem espacial da precipitação, que atravessa a vegetação de forma a representar a variabilidade espacial da precipitação que atravessa o dossel.

## 2.6 Evapotranspiração

A evaporação é o processo físico de conversão da água em vapor. Ocorre sempre que houver um gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante, que é altamente sensível à variação da temperatura do ar e umidade relativa, cessando quando a umidade relativa do ar é 100%. Segundo Balbinot et al. (2008), a presença da floresta protege a superfície do solo dos efeitos da radiação solar e do vento e aumentando a superfície ativa e reduzindo a evaporação direta.

A transpiração nas espécies vegetais é determinada, prioritariamente, pela demanda climática relacionada com a radiação solar, déficit de saturação de vapor da atmosfera, temperatura e velocidade do vento. Além desses fatores, inclui-se o mecanismo fisiológico, próprio da espécie e estágio de desenvolvimento relacionado com a resposta estomática aos fatores ambientais, a estrutura do dossel, além do índice de área foliar e da disponibilidade de água no solo (CALDER, 1986). Conseqüentemente, a taxa de transpiração das plantações florestais é afetada pela localização geográfica, condições ambientais e das espécies plantadas.

A evapotranspiração é de difícil estimativa, sendo o componente do ciclo hidrológico de maior incerteza (SCHUTTLEWORTH, 1988). Os dados de evapotranspiração real são de difícil obtenção e caros, isto porque demandam de longos períodos de observação. Porém, pode ser determinado através da estimativa da disponibilidade de água no solo baseado na aplicação do princípio de conservação de massas, através da contabilização das entradas e saídas de água no solo.

A evapotranspiração nos vegetais está diretamente relacionada com a quantidade de água armazenada no solo e diminui significativamente com o aumento do déficithídrico. Leite et al. (1999), Sacramento Neto (2001) e Carneiro (2004) conduziram estudos relacionados à evapotranspiração em povoamentos de eucalipto e constataram que a transpiração das árvores diminui na estação seca,

período que coincide com o menor armazenamento de água no solo, conferindo uma menor capacidade transpirativa, com conseqüente redução do seu crescimento em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo.

A demanda evapotranspirativa das árvores está relacionada com a biomassa foliar das plantas. Whitehead e Breadle (2004) e Martins et al. (2008) verificaram que a maior quantidade de biomassa foliar aumenta a transpiração e, conseqüentemente, o consumo de água pelas plantas. Molchanov (1963) comparando coníferas a espécies folhosas observou que as coníferas apresentaram maior área foliar (maior área evaporativa), menor albedo, maior interceptação da água da chuva e, conseqüentemente, maior consumo de água. Benyon e Doody (2004) relatam que quando o dossel se estabelece, o uso de água aumenta a um máximo, quando o índice de área foliar também estiver no máximo. Lima e Freire (1976) constataram que os totais estacionais da evapotranspiração são ligeiramente maiores para eucaliptos e pinheiros em comparação com a vegetação herbácea natural.

## **2.7 Dinâmica da água no solo**

Para estudar o ciclo da água, é preciso considerar o balanço hídrico que ocorre no volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas (ROSSATO, 2001). O balanço hídrico nada mais é que o somatório das quantidades de água que entram e saem do solo num determinado intervalo de tempo. Dentre estes vários processos que compõem o ciclo hidrológico, os fluxos de água no solo, tais como a infiltração, redistribuição, evaporação e absorção de água pelas plantas, são processos interdependentes e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente, conforme suas características estruturais.

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. Além disso, nesses mesmos poros, o solo armazena e fornece água e nutrientes para as plantas. Assim, a quantidade de água armazenada no solo disponível para as raízes das plantas, constitui-se em um dos principais fatores para o estudo da resposta da vegetação em condições de estresse-hídrico (MENDES et al., 2006).

A água das chuvas infiltra no solo, mas as propriedades físicas do solo é que irão determinar a sua capacidade de restrição e armazenamento. A composição granulométrica, a mineralogia e a área superficial específica das partículas que compõem o solo influenciam na retenção de água, pois estão relacionadas ao estado de energia que a água fica retida no solo. Solos com textura mais fina, em função da sua maior superfície específica, retêm maior quantidade de água se comparados aos solos de textura grosseira (LIBARDI, 2010). Além disso, o conteúdo de água no solo é função do tamanho e do volume dos seus poros, estando a umidade intimamente relacionada à pressão capilar (TUCCI, 1993).

As características do solo e da água, os fenômenos de entrada de água pela superfície, bem como a redistribuição através do perfil e a depleção da capacidade de armazenamento do solo definem a infiltração e o escoamento na superfície do terreno. Quando a camada superficial do solo sofre compactação, a água penetra com maior dificuldade (MAIA et al., 2005; REICHERT et al., 2007), mesmo que o perfil do solo apresente condições favoráveis à percolação, fenômeno caracterizado pelos movimentos realizados pela água no interior do solo após a infiltração. Vallejo (1982), em seu estudo realizado na Floresta da Tijuca, concluiu que a vegetação pode influenciar significativamente na camada superficial do solo, pois sua presença juntamente com camadas de matéria orgânica em decomposição, acaba protegendo o solo contra a compactação por gotas de chuva. O tipo de cobertura vegetal também propicia diferenças na capacidade de armazenamento do solo, visto que culturas florestais apresentam sistema radicular profundo, alcançando várias dezenas de metros de profundidade, com maior capacidade de armazenamento de água disponível no solo se comparadas à vegetação de campo ou culturas agrícolas, com sistema radicular mais raso (CAMARGO, 2005).

O padrão do sistema radicular do eucalipto, além de desempenhar importante papel na habilidade de crescer e sobreviver em condições de seca ainda está relacionado ao uso da água do solo e subterrânea. Porém, Lima (1996) afirma que as camadas superficiais do solo são suficientes para suprir as necessidades de água

às espécies de eucalipto, uma vez que o sistema radicular da maioria das espécies, inclusive as mais cultivadas em plantações florestais, é superficial, abundante e bem distribuído lateralmente. Lima e Reichardt (1977) explicam que, ao longo da camada superficial, ocorre alta variabilidade do conteúdo de umidade, devido à recarga da água pelas chuvas, assim como a exaustão da água armazenada no solo pela evapotranspiração. Dessa forma, a possibilidade de extração significativa de água do lençol freático somente ocorreria nos locais em que esse se encontre mais superficial e, portanto, ao alcance das raízes.

A comparação do efeito de diferentes espécies florestais sobre o regime de umidade do solo superficial e subterrâneo fornece indicações sobre o processo de transpiração, sendo que a maior demanda de água da transpiração é suprida pela umidade extraída das camadas superficiais do solo. E, à medida que o conteúdo de umidade dessa camada diminui, ocorre uma diminuição proporcional da transpiração (LIMA et al., 1990; LIMA, 1996). Lima e Freire (1976) não encontraram efeito adverso sobre o regime da água do solo como consequência do reflorestamento com eucalipto ou com pinheiros em comparação com o regime observado sob vegetação herbácea natural. Entretanto, observaram que os totais estacionais da evapotranspiração foram idênticos nos povoamentos de eucaliptos e pinheiros e, quando comparado com a vegetação herbácea natural, a evapotranspiração foi ligeiramente superior nas florestas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área do estudo, tratamentos e delineamento experimental

A área de estudo está localizada na “Fazenda Cerro do Jacaquá”, pertencente à empresa Stora Enso, situada no município de São Francisco de Assis, região fisiográfica das Missões, fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. A região corresponde a uma zona de transição entre o Planalto e a Campanha Gaúcha, cujo relevo apresenta-se tabuliforme com ondulações suaves e a vegetação predominante de campos limpos com pastagens nativas e cultivadas, utilizadas para a criação de gado (AUZANI, 2003). A variedade de vegetação apresenta-se bastante limitada, devido ao solo ser originado de rocha arenítica, medianamente fértil e parcialmente coberto por florestas, destacando-se pastagens, como braquiária e pangola, e também espécies arbóreas exóticas, como eucalipto e pinus (Figura 2).

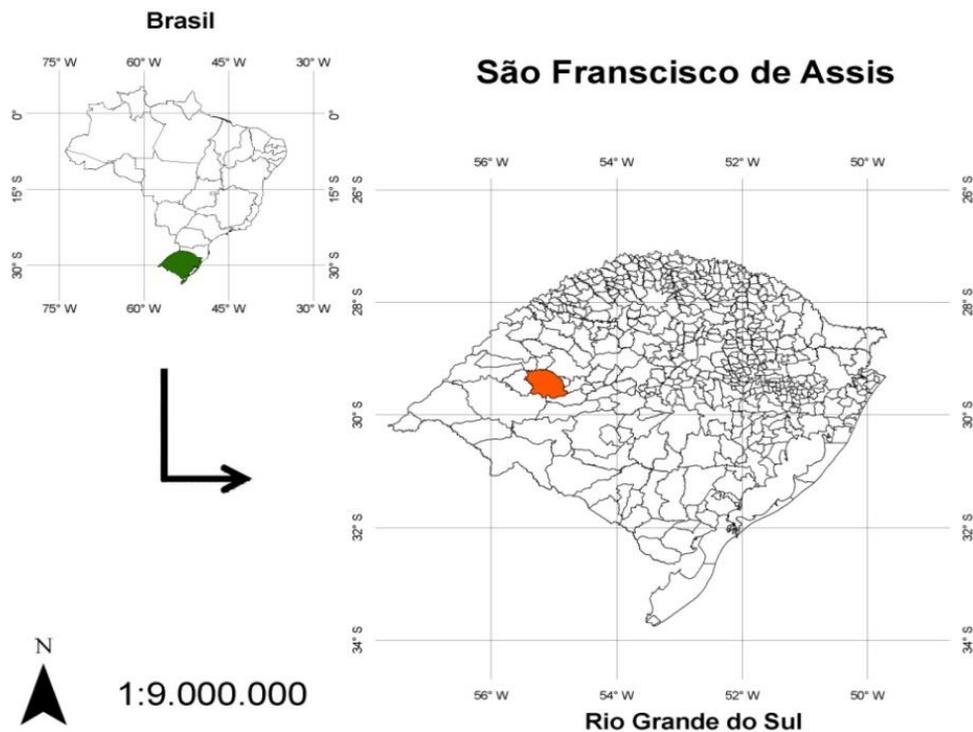


Figura 2 - Localização do município de São Francisco de Assis.

De acordo com Köppen, o clima da região está classificado como CfaH “Subtropical Mesotérmico” constantemente úmido, caracterizado por geadas de maio a agosto e calor intenso entre janeiro e fevereiro (MORENO, 1961). A pluviosidade é bem distribuída por todo ano, variando de 1.250mm a 1.500mm por ano e temperatura média anual de 18,6°C.

A geologia do município é constituída de arenitos e lutitos, apresentam-se areias grossas, bem estratificadas, material bastante friável, sendo os lutitos apresentando-se plásticos e com baixo teor de argila e os arenitos variegados, contém umidade no seu interior (AUZANI, 2003).

A vegetação da região, segundo Marchiori (2004), é típica do pampa do Rio Grande do Sul, onde predomina a fisionomia campo, entremeada de matas insulares e ciliares. 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.

As unidades experimentais foram implantadas numa área cujas coordenadas são 29°65'01,39”S de latitude e 55°17'99,20”W de longitude, situada na Fazenda Cerro do Jacaquá, pertencente à empresa Stora Enzo (Figura 3). O solo da área estudada é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013).

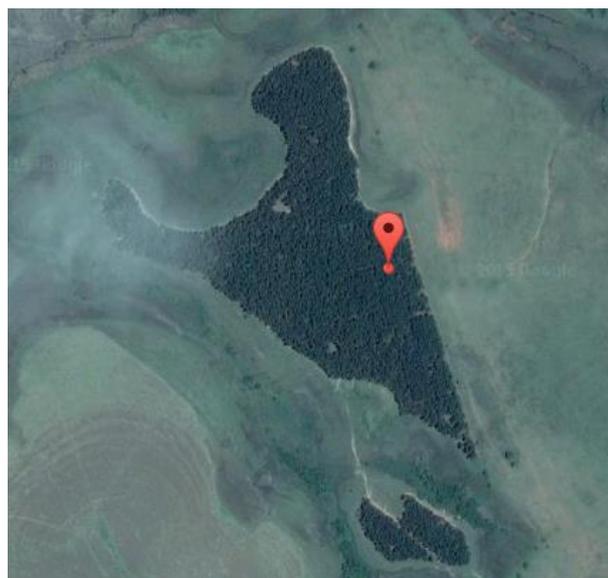


Figura 3 - Localização do povoamento de *Eucalyptus dunnii*, na Fazenda Cerro do Jacaquá, São Francisco de Assis-RS, Brasil.

Fonte: Google Earth, 2014.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com unidades amostrais de 35x35m, e três repetições, conforme representado na Figura 4. As unidades experimentais foram constituídas do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden, com diferentes espaçamentos de plantio: E1= 3,50X3,50 m; E2= 3,5X1,75 m; E3= 1,75X1,75 m; E4= 1,75X0,87 m (Tabela 1).

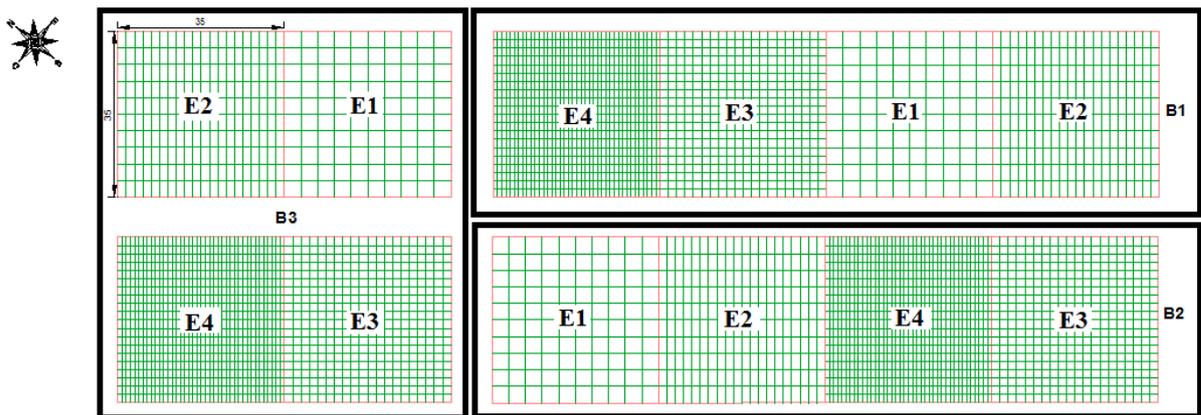


Figura 4 - Croqui da área experimental em São Francisco de Assis-RS, Brasil.

Tabela 1 - Caracterização dos tratamentos utilizados.

Tratamento	Espaçamento (m)	N	n	A (m <sup>2</sup> )
E1	3,5x3,5	816	100	12,25
E2	3,5x1,75	1632	200	6,12
E3	1,75x1,75	3265	400	3,06
E4	1,75x0,87	6568	805	1,53

N = número de árvoresha<sup>-1</sup>; n = número de árvores existentes na parcela; A = área disponível por planta. Fonte: Rosa (2010).

Antes do plantio a área estava ocupada com campo nativo submetido ao pastejo bovino, não havendo sinais de erosão e degradação do solo. Inicialmente, foi realizada a sulcagem na linha de plantio com a utilização de um escarificador de uma haste. A profundidade do sulco foi de 30 cm e foi aplicado 200 kg ha<sup>-1</sup> de hiperfosfato natural reativo de Gafsa em cada sulco, na formulação de 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ácido cítrico e 36% de Ca. A vegetação de campo nativo foi eliminada

com a aplicação do herbicida Glifosato na dose de 1,2 kg ha<sup>-1</sup> na entrelinha de plantio. A implantação do experimento constituiu no plantio das mudas manualmente e ocorreu em outubro de 2008, logo após as operações de preparo do solo. Na condução do experimento foi realizada uma adubação de cobertura após um mês do plantio, quando foi aplicado 100 g de NPK (6-30-6) por planta, em covetas laterais, distanciadas 15 cm das mudas (ROSA, 2010).

### **3.2 Avaliações físico-hídricas do solo**

A coleta das amostras de solo foi realizada através da abertura de três trincheiras na área de estudo, localizando-se uma em cada bloco.

Para a análise das propriedades físico-hídricas como a densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade, a condutividade hidráulica de solo saturado e curva característica de retenção da água no solo, foram coletadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos com 5,7 cm de diâmetro e 4 cm de altura, no centro das camadas de 0,00 a 0,30; 0,30 a 0,60; 0,60 a 0,90; 0,90 a 1,20 e 1,20 a 1,50; 1,50 a 1,80; 1,80 a 2,10 m de profundidade, com três subamostragem por camada. Nessas mesmas camadas, foram coletadas anéis com estrutura não preservada para realizar a caracterização química do solo e determinação da composição granulométrica e estimativa da retenção de água nos potenciais matriciais de -500 e -1500 kPa. A a estimativas destes potenciais foi feita com o psicrômetro de ponto de orvalho-WP4.

#### **3.2.1 Densidade do solo, porosidade e curva de retenção de água do solo**

Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e transportadas ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, RS. No laboratório, as amostras foram preparadas retirando-se cuidadosamente o excesso de solo das faces superior e inferior dos anéis metálicos. A fim de evitar perdas de solo durante o processo de saturação e manuseio das

amostras, a parte inferior da amostra foi protegida por um tecido permeável à água. Posteriormente, as amostras foram saturadas por ascensão capilar por 48 horas, cuja lâmina de água foi elevada gradativamente até atingir cerca de 2/3 da altura da amostra. Após a completa saturação, as amostras foram submetidas aos potenciais de 6 e 10 kPa em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006) para determinar, respectivamente, a macroporosidade, microporosidade e umidade na capacidade de campo. Em seguida foram submetidas aos potenciais matriciais de 33 e 100 kPa em Câmara de Richards (KLUTE, 1986).

O conteúdo de água retido nas amostras no potencial matricial de 10 kPa foi considerado como a umidade na capacidade de campo para este solo. A umidade nos potenciais matriciais de 500 kPa e 1500 kPa foi determinada no psicrômetro de ponto de orvalho- WP4, com amostras de estrutura não preservada (DECAGON, 2002). Como a umidade obtida pelo psicrômetro é gravimétrica os valores de umidade foram multiplicados pela densidade do solo correspondente para cada camada amostrada, obtendo-se, assim, a umidade volumétrica.

A curva de retenção foi obtida pela relação entre a umidade e o potencial matricial de água no solo em cada ponto avaliado, sendo os dados ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + (\alpha\psi)^n)^m} \quad \text{“Eq. (2)”}$$

Sendo  $\theta$  = conteúdo de água do solo (mm);  $\theta_r$  = conteúdo de água residual (mm);  $\theta_s$  = conteúdo de água na saturação (mm);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são os parâmetros empíricos do modelo. A restrição para  $m = 1-1/n$  foi adotada. Os parâmetros  $\alpha$ ,  $n$  e  $\theta_r$  foram determinados iterativamente no ajuste do modelo aos dados.

A umidade do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) foi utilizada para calcular a quantidade total de água disponível armazenada no solo, sendo determinada pela diferença de umidade entre a tensão de 10 kPa (CC) e a tensão de 1500 kPa (PMP).

### 3.2.2 Condutividade hidráulica do solo saturado

Após equilibradas ao potencial matricial de 100 kPa na Câmara de Richards, as amostras foram novamente saturadas por capilaridade para se medir o fluxo de água e calcular a condutividade hidráulica do solo saturado, através do método do permeâmetro de carga constante (Figura 5) conforme descrito em Embrapa (1997) de acordo com a equação 3. As três medições do volume de água percolada nas amostras foram feitas a cada cinco minutos, após o início da percolação, visto que as amostras já haviam sido previamente saturadas, sendo analisadas 12 amostras por vez. A medida da condutividade hidráulica do solo saturado foi obtida através da aplicação da lei de Darcy, equação 3:

$$K_{sat} = \frac{Q * L}{A * H * t}$$

“Eq. (3)”

em que:  $K_{sat}$  = Condutividade hidráulica em  $\text{cm h}^{-1}$ ;  $Q$  = o volume de água percolado em  $\text{cm}^3$ ;  $L$  = altura do bloco de solo em  $\text{cm}$ ;  $A$  = área do cilindro em  $\text{cm}^2$ ;  $H$  = altura do solo e da coluna de água em  $\text{cm}$ ;  $t$  = tempo em horas.

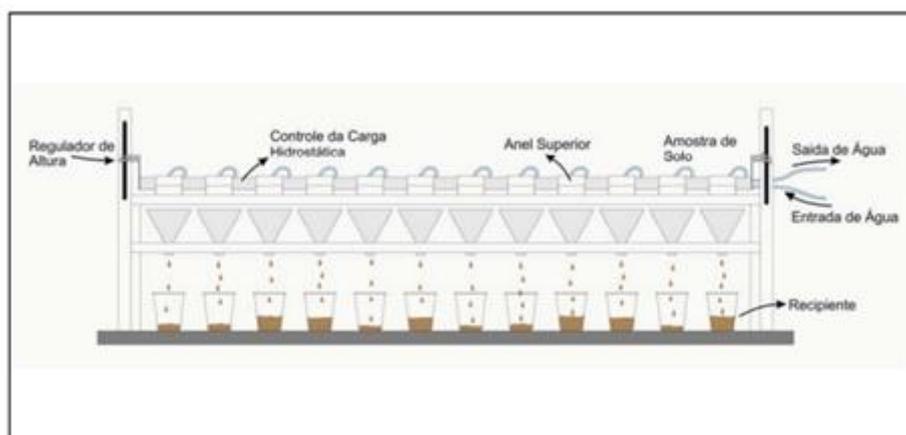


Figura 5 - Permeômetro de carga constante utilizado nas medições de condutividade hidráulica do solo saturado.

Fonte: Abrão (2011).

### 3.2.3 Análise granulométrica do solo

A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Para isso foram utilizados 20g terra fina seca ar ao e NaOH a 6% como dispersante, sendo quantificado o teor de argila (fração menor que 0,002 mm), silte, areia fina (0,05 – 0,20 mm) e areia grossa (fração superior a 0,02 mm).

Esse método baseia-se na dispersão da amostra com solução de NaOH 1mol L<sup>-1</sup>, separação da fração areia por tamisamento úmido e da argila pela velocidade de sedimentação, considerando-se a lei de Stokes. O silte é determinado pela diferença das massas de areia e argila do total. A classificação textural foi realizada segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013).

### 3.2.4 Umidade e armazenamento da água no solo

A umidade volumétrica do solo foi monitorada no período de 12 meses, de Outubro de 2013 a Outubro de 2014, nos diferentes tratamentos. A umidade volumétrica foi indiretamente medida nas camadas de 0,00 a 0,30; 0,30 a 0,60; 0,60 a 0,90; 0,90 a 1,20 e 1,20 a 1,50; 1,50 a 1,80; 1,80 a 2,10 m de profundidade por meio da técnica da reflectometria de domínio do tempo (TDR). Para isso foram instalados dois TDR-100 (Campbell Cientific) automáticos, conectados a um datalogger e doze multiplexadores, aos quais foram conectadas 84 sondas (sete em cada multiplexador). O sistema todo foi alimentado por duas baterias de 12 volts, as quais eram recarregadas por painel solar. As medidas foram feitas a cada 1 hora. Para ambos os equipamentos, foram geradas duas curvas de calibração para os solos do experimento, uma para a camada arenosa (0-1,20 m) e outra para a camada argilosa (1,20-1,80 m). A constante dielétrica ( $K_a$ ) fornecidas pelos TDRs foi convertida em conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) com as curvas de calibração  $\theta_r = 3E-05K_a^3 - 0,0013K_a^2 + 0,0349K_a - 0,099$  ( $R^2=0,995$   $p>0,001$ ) e  $\theta = -7E-05K_a^3 - 1E-0,4K_a^2 + 0,0179K_a - 0,0065$  ( $R^2=0,9827$   $p>0,001$ ), respectivamente para a camada arenosa e argilosa (GELAIN, 2012).

Foram instaladas sondas de TDR horizontalmente, nas profundidades de 0,30; 0,60; 0,90; 1,20; 1,50; 1,80 e 2,10 m (Figura 6). A instalação na horizontal permite que toda a extensão da sonda (19 cm) fique numa condição de umidade semelhante.

A quantidade de água disponível (AD) foi calculada pela diferença entre o conteúdo de água retido na tensão de 10 kPa, considerado como capacidade de campo, e o conteúdo de água retido no(1500 kPa) Ponto de murcha permanente.

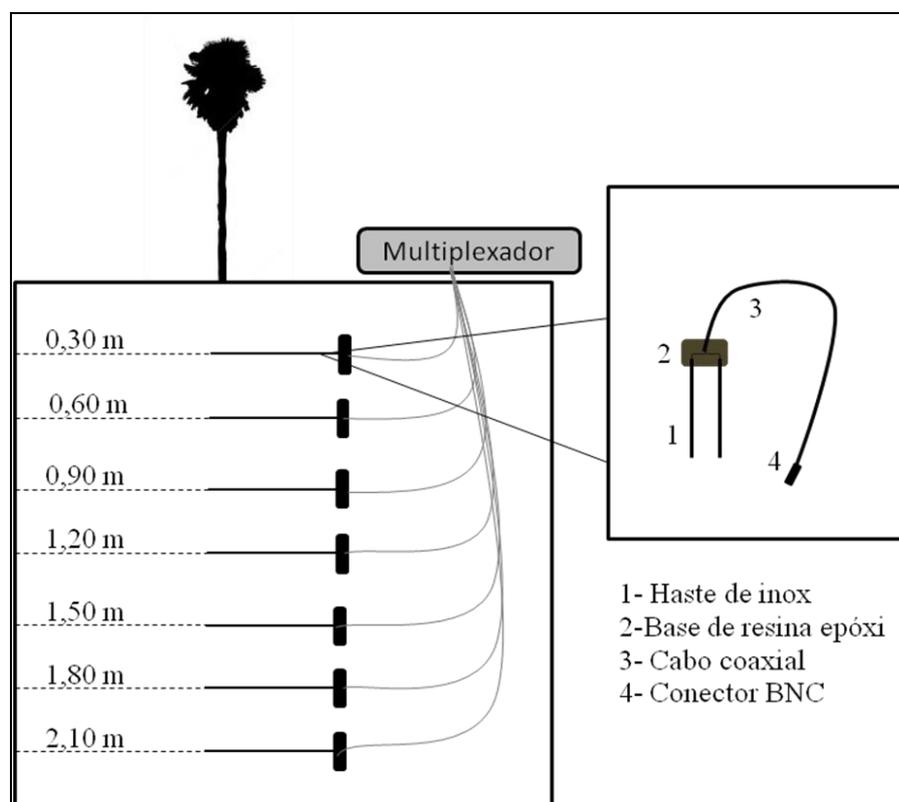


Figura 6 - Esquema da instalação das sondas no perfil do solo e da sonda utilizada.

Para a determinação da percolação profunda foram utilizada a curva de retenção de água e a condutividade hidráulica nos diferentes tratamentos e profundidades e, posteriormente, o fluxo de água no solo foi estimado pela Equação de Darcy (equação 4):

$$Q_z = -k * \left[ \frac{\Delta\Psi}{\Delta Z} \right]$$

“Eq. (4)”

em que:  $Q_z$  = fluxo de água no solo ( $\text{cm h}^{-1}$ );  $K$  = condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ );  $\Delta\Psi$  = potencial total;  $\Delta Z$  = variação de posição.

### 3.3 Monitoramento das variáveis hidrológicas

O trabalho foi conduzido durante um ano hidrológico, correspondente ao período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. A área em estudo foi instrumentada de modo a permitir o levantamento de informações inerentes às seguintes características: precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação. A medição dessas variáveis foi realizada quinzenalmente, com exceção de alguns períodos em que as medições foram mensais.

#### 3.3.1 Precipitação

A precipitação pluvial da área de estudo foi obtida com o uso de um pluviômetro automático conectado ao armazenador eletrônico de dados (datallogger), que realizava as medidas de precipitação a cada 10 minutos (Figura 7a). O pluviômetro automático foi instalado em uma área de campo localizada ao lado do povoamento de eucalipto.

Além do pluviômetro automático, foram também instalados três pluviômetros manuais distribuídos aleatoriamente em locais distintos, próximos ao pluviômetro automático. Os pluviômetros possuem uma área de captação de  $200 \text{ cm}^2$ , nivelados e posicionados a 1,50 m de altura do solo (Figura 7b). Os pluviômetros foram acoplados individualmente a recipientes plásticos com capacidade para armazenar até 20 litros de água, sendo as leituras realizadas quinzenalmente.

A área de cada pluviômetro é de  $0,020 \text{ m}^2$  e a precipitação (mm) foi determinada pela equação 5:

$$Pt = \sum \frac{Vi}{A_{pluv}} \quad \text{“Eq. (5)”}$$

em que:  $P_t$  = precipitação total (mm);  $V_i$  = volume acumulado no pluviômetro  $i$  (L);  $A_{pluv}$  = área de cada pluviômetro ( $m^2$ ).

Os dados de precipitação total no ambiente aberto foram coletados a cada 10 min, conforme programação, porém para a análise da interceptação, a  $P_t$  foi acumulada durante o período da coleta da precipitação interna. Então realizou-se a consistência dos dados de  $P_t$  comparando-a com a precipitação acumulada de 3 pluviômetros manuais.



Figura 7 - a) Pluviômetro automático; b) Pluviômetro manual.

### 3.3.2 Precipitação Interna

Para a quantificação da precipitação interna nos diferentes tratamentos, foram instalados 3 pluviômetros em cada parcela, totalizando 36 pluviômetros lineares no interior da floresta distribuídos em três posições: na linha entre duas árvores, na entrelinha entre duas árvores e na diagonal entre quatro árvores, com o objetivo de considerar a variabilidade espacial da distribuição das chuvas abaixo da estrutura da cobertura florestal.

Os pluviômetros consistiram de calhas de 10 cm de largura, construídas com canos de PVC de 10cm de diâmetro partido ao meio longitudinalmente, e aproximadamente 100cm de comprimento, posicionados a 1,0 m de altura em relação ao solo, com 2% inclinação, a fim de evitar acúmulo de água da chuva. Na extremidade inferior de cada pluviômetro, conectou-se uma mangueira plástica para conduzir a água da chuva a um recipiente plástico com capacidade de armazenamento de 20 L (Figura 8).



Figura 8 - Pluviômetros lineares distribuídos no interior do povoamento de *Eucalyptus dunnii*.

O volume de água coletada nos pluviômetros depende da área da superfície de captação do coletor, a qual tem aproximadamente 0,10m<sup>2</sup>. Assim, para obter a precipitação interna é necessário dividir o volume de água coletado (dados brutos) pela área de coleta do pluviômetro linear. Portanto, a precipitação interna de cada coletor foi determinada pela seguinte equação 6:

$$P_i = \sum \frac{V_i}{A_{calha}} \quad \text{“Eq. (6)”}$$

em que:  $P_i$  = precipitação interna (mm);  $V_i$  = Volume de água acumulado em cada coletor (L);  $A_{calha}$  = área do pluviômetro (m<sup>2</sup>).

### 3.3.3 Escoamento de água pelo tronco (EscT)

A quantificação da água que escorre pelo tronco foi realizada em árvores-amostra selecionadas em cada parcela, totalizando 36 árvores em todo o experimento. A seleção das árvores foi realizada com base nos resultados de um inventário florestal, onde mediu-se o diâmetro à altura do peito (Dap) de todas as árvores do povoamento e a altura das 5 árvores dominantes, ou seja, aquelas que apresentam o maior Dap. A partir disso, foram selecionadas 3 árvores em cada parcela, sendo considerado o método da árvore individual, geralmente com a árvore de diâmetro médio (SANQUETA, 2002).

Como critério para seleção das outras árvores-amostra, calculou-se o desvio padrão da distribuição dos valores de diâmetro à altura do peito em cada povoamento. Este valor indica uma boa amplitude de distribuição dos valores considerados em relação ao valor médio. Selecionou-se a árvore de diâmetro à altura do peito médio, a árvore de diâmetro superior (valor de Dap + desvio padrão) e a árvore de diâmetro inferior (Dap - desvio padrão) em cada local. Essa seleção permite representar a variabilidade do escoamento de água pelo tronco decorrente da variação das dimensões das árvores.

Para a instalação dos coletores, as árvores selecionadas tiveram a sua casca raspada, a partir dos 60 cm de altura da árvore, deixando uma superfície lisa de 1 metro de comprimento para a fixação de mangueiras plásticas de uma polegada. As mangueiras foram cortadas no sentido longitudinal e fixadas no tronco por meio de espuma de poliuretano e silicone incolor, formando canaletas coletoras na forma espiral (Figura 9). A água escoada pelas mangueiras foi direcionada por gravidade para dois galões de plástico com capacidade de armazenamento total de até 40 litros, sendo a leitura do volume escoado realizada com o uso de balde e uma proveta graduada.

A área de captação considerada foi em função do espaçamento do plantio, ou seja, a área útil de cada árvore, portanto o volume escoado é quantificado conforme a Equação 7:

$$EscT = \sum \frac{Vi}{A_u} \quad \text{“Eq. (7)”}$$

em que:  $EscT$  = escoamento pelos troncos em mm;  $V$  = volume de água coletada (l) e  $A_u$  = área útil disponível para cada árvore ( $m^2$ ), conforme o espaçamento de plantio. Dessa forma, para este estudo o  $A_u$  usado para cada espaçamento foi de: E1 de  $12,25 m^2$ ; E2 de  $6,12 m^2$ ; E3 de  $3,06 m^2$  e E4 de  $1,53 m^2$ .

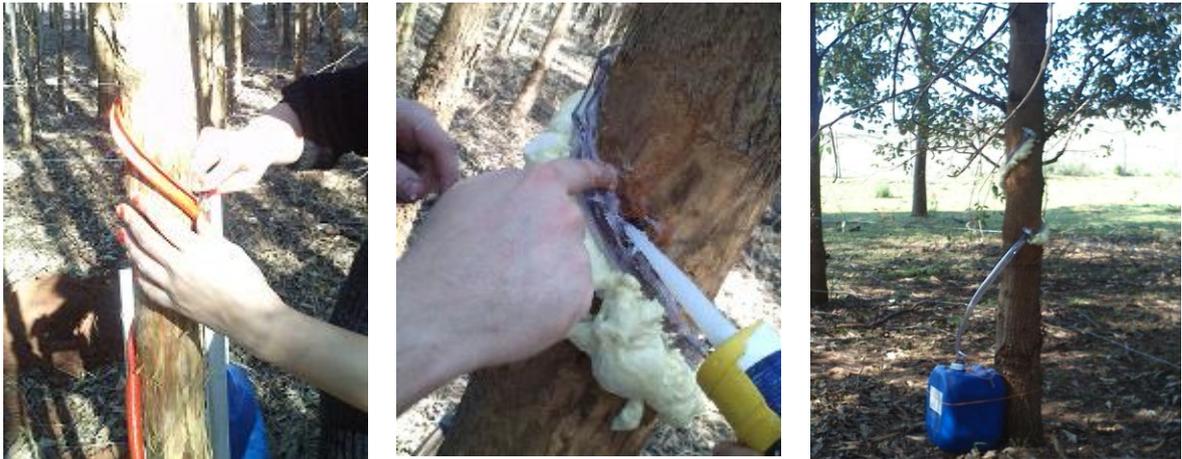


Figura 9 - Instalação dos coletores de escoamento de água pelo tronco no plantio de *Eucalyptus dunnii*.

### 3.3.4 Interceptação

A interceptação é a quantidade de água precipitada que não chega ao interior da floresta, pois esta fica retida nas folhas das árvores e retorna por evaporação para atmosfera. Portanto, a quantidade de chuva interceptada pela copa das árvores de eucalipto foi obtida subtraindo a precipitação total incidente ( $P_t$ ) pelo valor da lâmina de água que atinge a superfície do solo ( $P_e$ ), conforme a equação 8:

Esse cálculo foi efetuado para todas as medidas realizadas no estudo, o que forneceu valores acumulados de perda por interceptação, uma vez que as coletas foram feitas quinzenalmente, podendo ter acumulado um ou mais eventos de chuva.

$$I = P_t - P_e \quad \text{“Eq. (8)”}$$

em que:  $I$  é a perda por interceptação da chuva (mm);  $P_t$  é a precipitação total (mm) e  $P_e$  é a precipitação efetiva.

A precipitação efetiva ( $Pe$ ) é a chuva que atinge o solo. Para cada um dos espaçamentos a  $Pe$  foi calculada pela soma entre a precipitação interna e o escoamento de água pelo tronco, como mostra a equação 9:

$$Pe_{(mm)} = Pi_{(mm)} + EscT_{(mm)} \quad \text{“Eq. (9)”}$$

em que:  $Pe$  é a precipitação efetiva (mm),  $Pi$  é a precipitação interna (mm),  $EscT$  é o volume de escoamento de água pelo tronco (mm).

### 3.3.5 Perda de água por escoamento superficial

Para quantificar a água perdida por escoamento superficial foram instaladas três calhas em cada tratamento no sentido do declive do terreno. As calhas de ferro possuem bordadura nas extremidades laterais com altura de 10cm sobre o nível do solo, e dimensão de 0,5m de largura e 1,0m de comprimento. Na extremidade inferior, as calhas possuem um canal para condução da água escoada pela superfície do solo para um reservatório de 24L, que permitiam fazer as leituras quinzenalmente (Figura 10).



Figura 10 - Calha de coleta do escoamento superficial de água no solo.

O volume de água escoado foi determinado pela média dos três coletores para cada tratamento, conforme a equação 10.

$$EscS = \frac{Vi}{A_{col}} \quad \text{"Eq. (10)"}$$

em que: EscS = escoamento superficial (mm); Vi = volume de água escoado no coletor (L); A<sub>col</sub> = área do coletor (m<sup>2</sup>).

### 3.3.6 Perda ou ganho de água por fluxo interno no solo

O fluxo de água, no intervalo de tempo diário, através da base do perfil de solo, isto é na profundidade de 2,10 m, (drenagem profunda ou ascensão capilar) foi estimado com a equação de Darcy e Buckman:

$$q = -K_m(\theta) \frac{\psi_{t_{z1}} - \psi_{t_{z2}}}{z_2 - z_1} \quad \text{"Eq. (11)"}$$

em que: q é a densidade de fluxo da água entre os pontos z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub> (mm d<sup>-1</sup>); K<sub>m</sub>(θ) é a condutividade hidráulica do solo média diária entre z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub> e em função do conteúdo de água em z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub> (mm d<sup>-1</sup>), e ψ<sub>t</sub> é o potencial total da água nos pontos z<sub>1</sub> (1800mm) e z<sub>2</sub> (2100mm).

Diariamente, a K<sub>m</sub>(θ) foi calculada por meio da equação de van Genuchten (1980) (Equação 12), utilizando-se os dados da curva de retenção de água de z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub> e do conteúdo volumétrico de água no solo em z<sub>1</sub> e z<sub>2</sub> (média diária das medições dos sensores TDR).

$$K(\theta) = K_s \omega^{0,5} \left[ 1 - \left( 1 - \omega^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad \text{"Eq. (12)"}$$

em que:  $K_s$  a condutividade hidráulica em solo saturado em  $z_i$ ;  $m$  é o parâmetro da curva de retenção de água em  $z_i$ ;  $\omega$  a saturação efetiva em  $z_i$ , sendo essa expressa por:

$$\omega = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \quad \text{"Eq. (13)"}$$

em que  $\theta$ ,  $\theta_s$  e  $\theta_r$  são, respectivamente, os conteúdos de água atual (média diária das medições dos sensores TDR), de saturação e residual (ambos obtidos da curva de retenção de água) em  $z_i$ .

A  $K_m(\theta)$  foi definida como a média entre a  $K(\theta)$  em  $z_1$  e  $z_2$ .

O potencial total da água em  $z_1$  e  $z_2$  foi calculado pela soma do potencial gravitacional, definido considerando-se a referência gravitacional na superfície do solo (-1800mm em  $z_1$  e -2100mm em  $z_2$ ), com o potencial matricial. O potencial matricial  $m$  foi estimado rearranjando-se a equação de Van Genuchten:

$$\Psi_m = \frac{\left[ \left( \frac{1}{\omega} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad \text{Eq. (14)}$$

Em que:  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ , são parâmetros de ajuste,  $\omega$  é a umidade de saturação em  $z_i$ .

Se o resultado para o fluxo de água ( $q$ ) calculado pela equação 12 for positivo indica ascensão capilar (AC), com entrada de água no perfil do solo de baixo para cima, se negativo, indica drenagem profunda, com saída de água do perfil de solo de cima para baixo.

### 3.4 Balanço hídrico no solo

O cálculo do balanço hídrico para o volume de solo foi realizado utilizando-se a equação de continuidade de massa (equação 15), sendo a evapotranspiração

obtida pela diferença entre as entradas e as saídas de água na camada de solos estudada, desconsiderando fluxos laterais e ascendentes.

O Balanço hídrico do solo pode ser representado pela seguinte equação 15 simplificada:

$$ET = Pt - Esc \pm Q \pm \Delta S \quad \text{Eq. (15)}$$

Em que: ET = evapotranspiração (mm); Pt = precipitação total (mm); Esc = escoamento superficial (mm); Q = fluxo água do solo (mm);  $\Delta S$  = variação do armazenamento de água no solo (mm).

Desta equação, os termos da direita foram medidos, o que possibilita o cálculo da evapotranspiração.

### 3.5 Quantificação da biomassa aérea e eficiência do uso da água

A quantificação da biomassa aérea foi realizada em dois períodos distintos, o primeiro período corresponde ao início das avaliações, realizado em Outubro de 2013 e o segundo, correspondente ao final do período de avaliações, realizado em Outubro de 2014. Nos dois períodos de avaliação foram selecionadas três árvores-amostras por tratamento, sendo elas: a árvore de diâmetro à altura do peito médio, a árvore de diâmetro superior (valor de Dap + desvio padrão) e a árvore de diâmetro inferior (Dap - desvio padrão) em cada parcela.

As árvores selecionadas foram abatidas, sendo posteriormente realizadas a separação e a pesagem de todos os componentes, ou seja, da madeira do tronco, das folhas e dos galhos (Figura 11). Em seguida, as árvores foram submetidas a um processo de cubagem rigoroso, conforme o método de Smalian, descrito por Finger (1992). Foram retiradas e pesadas amostras de cada um dos componentes (folhas, galhos e madeira do tronco) para, posteriormente, serem encaminhadas ao laboratório para secarem em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de 70°C, até atingirem peso constante. A partir dos resultados dos pesos secos e úmidos das amostras, foi calculado o teor de umidade de cada amostra e estimada a quantidade total de biomassa por hectare.

O incremento de biomassa aérea foi obtido pela diferença entre os dois períodos amostrados, determinado para os diferentes tratamentos. Com os dados de

incremento da biomassa aérea e o volume de água evapotranspirada foi possível estimar a eficiência do uso da água pelas árvores de eucalipto. A eficiência do uso da água foi estimada pela equação 16, descrita em Hatifield et al. (2001):

$$EUA = \frac{\Delta \text{biomassa}}{V_{ET}} \quad \text{Eq.(16)}$$

em que: EUA = eficiência do uso da água (g L<sup>-1</sup>); Δbiomassa = incremento da biomassa aérea (g); V<sub>ET</sub> = Volume evapotranspirado (L).



Figura 11 - a) Desgalhamento da árvore-amostra; b) Cubagem pelo método de Smalian; c) Separação do tronco em toretes; d) Separação dos galhos e folhas; e) Pesagem total dos galhos e folhas; f) Pesagem dos toretes.

### 3.6 Análise estatística

Os resultados obtidos para conteúdo volumétrico de água no solo e parâmetros dendrométricos das árvores de eucalipto foram submetidos à análise de variância e, quando o valor de F foi significativo, utilizou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) ao nível de 5% de significância para a comparação das médias dos tratamentos.

Para verificar a existência de inter-relações entre as propriedades físicas avaliadas, foram realizadas análise de regressão entre as variáveis do balanço hídrico, empregando-se o coeficiente de correlação com nível de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das propriedades físico-hídricas do solo

Observa-se que a densidade do solo apresentou valores variando de 1,49 a 1,65 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 2). Os maiores valores de densidade do solo foram verificados nas camadas mais superficiais (entre 0 e 1,20 m de profundidade), sendo acompanhados pelos menores valores da macroporosidade e da condutividade hidráulica do solo e menores os valores da microporosidade e da porosidade total. Essa tendência está diretamente relacionada com o tipo de solo ocorrente no local e sua composição granulométrica (APÊNDICES A, B, C e D), uma vez que o solo apresenta mais de 70% de areia até a profundidade de 1,20m. Além disso, naturalmente os solos apresentam diminuição da densidade e macroporosidade e aumento na quantidade de microporos e da porosidade total com o aprofundamento no solo, decorrentes da redução na quantidade de matéria orgânica, aumento no conteúdo de argila (REICHERT et al., 2007) e adensamento natural proporcionado pelas camadas subjacentes (KIEHL, 1979; CAVENAGE et al., 1999; PREVEDELLO et al., 2013).

Tabela 2 - Médias de Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), Porosidade total do solo (PT) e condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) de um Argissolo em área de eucalipto no Bioma Pampa do RS. São Francisco de Assis. 2014.

Camada (m)	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	Macro	Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Pt	Ksat (mm h <sup>-1</sup> )
0 – 0,30	1,65	0,17	0,19	0,36	22,39
0,30 – 0,60	1,55	0,18	0,20	0,39	33,64
0,60 – 0,90	1,52	0,21	0,19	0,40	74,01
0,90 – 1,20	1,56	0,16	0,23	0,39	31,14
1,20 – 1,50	1,49	0,12	0,32	0,44	6,69
1,50 – 1,80	1,51	0,11	0,32	0,43	7,78
1,80 – 2,10	1,53	0,10	0,32	0,42	2,82
2,10 – 2,30	1,58	0,09	0,31	0,40	2,76

Na profundidade superior a 1,20m ocorreu a redução na quantidade de areia e aumento considerável no conteúdo de argila, formando o horizonte B textural, conseqüentemente, com modificações nas propriedades físicas do solo. Essa movimentação de material fino das camadas superficiais para as camadas mais subsuperficiais, ocorre devido ao processo de eluviação das argila o qual, contribui para a redução dos espaços porosos e aumento da densidade do solo, dificultando a movimentação de água nessas camadas (MORALES, 2013). Com isso, pode haver deficiência na capacidade de transporte de água nas camadas mais profundas, drenagem imperfeita e redução da condutividade de água no solo, com reflexos no movimento de água para as raízes, podendo interferir no desenvolvimento e crescimento das plantas.

A  $k_{sat}$  é dependente da estrutura e da textura do solo. As práticas culturais adotadas alterando a estrutura do solo influenciam diretamente a  $k_{sat}$ , influenciam mais até que os processos de gênese e formação da estrutura dos solos (MESQUITA; MORAES, 2004). Porém, pode-se observar no solo estudado que, nas camadas mais superficiais, constituídas com mais de 70% de areia, a condutividade hidráulica do solo apresenta os maiores valores, o que confere a estas camadas uma maior condução de água em relação à retenção. Nas camadas superiores a 1,20 m de profundidade, o aumento da quantidade de argila, formando um horizonte B textural, resultou em redução da macroporosidade e aumento da microporosidade, com conseqüente diminuição da  $k_{sat}$ , principalmente nos valores de macroporosidade próximos a  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , demonstrando que a condutividade hidráulica do solo sofre influência direta da textura do solo. Esse comportamento interfere na baixa formação de erosão, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo e garantindo a nutrição das plantas presentes no povoamento florestal e alta produção das espécies.

A condutividade hidráulica é uma das propriedades físicas do solo que melhor indicam as diferenças estruturais nas diversas camadas que constituem o perfil (CORSINI, 1974), variando de horizonte para horizonte, dentro de cada horizonte e em função da umidade que os solos apresentam. Dessa forma, a  $k_{sat}$  depende diretamente da quantidade e da continuidade dos poros do solo, e representa uma característica muito importante com relação à infiltração e ao armazenamento de água no solo e à erosão. Solos com menor  $k_{sat}$  estão mais sujeitos à erosão, devido à dificuldade de infiltração e redistribuição da água no perfil do solo, onde a água

escorre na superfície do solo, provocando o escoamento superficial (CERDÀ, 1996). Este volume de água que não infiltra no perfil do solo é perdido juntamente com partículas e nutrientes, acelerando o processo de desgaste e empobrecimento do solo, com reflexos direto na produtividade das plantas.

Os poros com diâmetro ( $D_p$ ) > 50  $\mu\text{m}$  (Macroporos) apresentaram correlação inversa com a densidade do solo (Tabela 3), permitindo inferir que um aumento da densidade reflete negativamente na  $k_{sat}$ , reduzindo o fluxo de água no solo. Isso é ratificado por Vogelmann et al. (2012), que verificaram que o aumento da densidade promove uma alteração na estrutura porosa, reduzindo os poros maiores e aumentando os menores, com reflexos diretos na condutividade hidráulica do solo. Em relação aos microporos ( $D_p < 50 \mu\text{m}$ ) e que perdem água em potenciais entre -6 e -1500kPa, foi observada correlação entre a  $k_{sat}$  e poros com  $D_p$  entre 50-30 e 30-9  $\mu\text{m}$ , indicando a continuidade desses poros, uma vez que pequenos poros podem conduzir mais água quando são poros contínuos (BOUMA, 1982). Mesquita e Moraes (2004) relatam que a  $k_{sat}$  depende, grande parte, da forma e continuidade dos poros, a qual varia fortemente de um local para outro e para as distintas orientações do solo.

Tabela 3 - Correlação entre a distribuição do diâmetro de poros e as propriedades físicas do solo em Argissolo em área de eucalipto no Bioma Pampa do RS. São Francisco de Assis. 2014.

	<b>Ds</b>	<b>Macro</b>	<b>Micro</b>	<b>PT</b>	<b>Ksat</b>
<b>Dp &gt; 300 <math>\mu\text{m}</math></b>	-0,53****	0,25*	0,14 ns	0,55****	-0,04 ns
<b>Dp 300 - 50 <math>\mu\text{m}</math></b>	-0,08 ns	0,96****	-0,85****	-0,17 ns	0,88****
<b>Dp 50 - 30 <math>\mu\text{m}</math></b>	-0,33***	-0,78****	-0,99****	0,62****	-0,67****
<b>Dp 30 - 9 <math>\mu\text{m}</math></b>	-0,31***	-0,80****	0,99****	0,59****	-0,69****
<b>Dp 9 - 3 <math>\mu\text{m}</math></b>	-0,19*	0,06 ns	0,06 ns	0,16 ns	-0,02ns
<b>Dp &lt; 3 <math>\mu\text{m}</math></b>	0,09ns	-0,05 ns	-0,00 ns	-0,09 ns	-0,00 ns
<b>Ds</b>	1	-0,21*	-0,33**	-0,83****	-0,19*
<b>Macro</b>	-	1	-0,78****	-0,01 ns	0,84****
<b>Micro</b>	-	-	1	0,62****	-0,67****
<b>PT</b>	-	-	-	1	-0,02 ns

em que:  $D_p$  = diâmetro de poros; Ds = densidade do solo; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total;  $k_{sat}$  = condutividade hidráulica do solo saturado.

\*\*\*\*Significativo a 0,0001; \*\*\* significativo a 0,001; \*\* significativo a 0,01; \* significativo a 0,05; ns = não significativo.

## 4.2 Redistribuição da chuva no eucalipto

### 4.2.1 Precipitação total e Precipitação interna

A precipitação total equivale a toda a precipitação que chega ao topo da floresta. Observa-se que no período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014, a pluviosidade total (Pt) acumulada foi de 2.582 mm. Este valor anual está acima do valor médio para a região, que varia entre 1.250 a 1.500 mm ano<sup>-1</sup> (BARROS; SARTORI, 1978; KLAMT; SCHNEIDER, 1990). O período contemplou meses com chuvas abundantes, com apenas dois períodos de chuvas escassas, ou seja, o período entre os 29/02/2014 a 13/03/2014 e 18/04/2014 a 26/04/2014, com precipitação de 3,6 e 13,3 mm, respectivamente conforme pode ser observado na Tabela 6.

A precipitação interna corresponde à precipitação não interceptada pelo dossel das árvores e que atinge o solo. Os totais de precipitação interna nos diferentes espaçamentos de plantio ao longo do período de estudo (Tabela 4), apresentaram valores próximos entre si, sendo os maiores valores verificados nos espaçamentos entre plantas mais amplos (E1 e E2), com valores médios de 1.603,7 e 1.519 mm, respectivamente, o que corresponde a 60,4 % e 57,3 % do total de precipitação. Os menores espaçamentos (E3 e E4) apresentaram valores de precipitação interna média de 1.499,3 e 1.384,9 mm, respectivamente, correspondendo a 57,1 e 52,3 % do total de precipitação. Pesquisas feitas por Sacramento Neto (2001) e Zoluaga (2013) em eucalipto apresentaram valores de precipitação interna de 84,7% e 82,5%, respectivamente. Caldato (2011) encontrou uma porcentagem de 68,9% de precipitação interna em povoamento de Pinus de 12 anos de idade no Nordeste da Argentina.

Tabela 4 - Precipitação total (Pt) e precipitação interna (Pi) em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

Coletas	Pt	Pi - E1		Pi - E2		Pi - E3		Pi - E4	
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
C1	25,0	16,0	64,1	13,0	51,8	13,9	55,6	12,8	51,2
C2	95,0	56,5	59,4	53,2	56,0	54,0	56,8	50,0	52,6
C3	251,3	202,6	80,6	170,6	67,9	165,5	65,9	166,4	66,2
C4	140,3	85,8	61,2	78,3	55,8	77,1	55,0	74,7	53,2
C5	45,4	24,3	53,5	22,8	50,3	22,8	50,2	20,8	45,7
C6	24,3	9,6	39,4	9,6	39,3	8,7	35,8	8,3	34,0
C7	122,0	79,9	65,5	80,1	65,7	76,6	62,8	72,1	59,1
C8	51,1	44,6	87,3	42,3	82,8	41,5	81,1	39,9	78,0
C9	42,7	19,8	46,3	17,7	41,4	18,1	42,3	17,1	40,0
C10	174,1	98,7	56,7	95,8	55,0	93,3	53,6	86,2	49,5
C11	3,6	3,2	88,8	2,9	82,1	3,1	87,3	2,7	76,2
C12	245,7	183,3	74,6	171,3	69,7	168,7	68,6	157,3	64,0
C13	128,7	77,3	60,1	75,5	58,6	72,1	56,0	66,6	51,8
C14	13,3	4,1	30,7	4,4	32,9	4,7	35,3	3,5	26,2
C15	204,8	124,7	60,9	128,7	62,9	122,0	59,6	104,1	50,8
C16	59,8	38,0	63,6	37,1	62,1	36,3	60,7	31,1	52,0
C17	81,8	47,2	57,8	44,5	54,4	43,0	52,7	41,6	50,8
C18	144,9	92,6	63,9	86,7	59,9	93,2	64,3	79,5	54,9
C19	114,5	64,9	56,7	61,9	54,0	62,2	54,3	55,8	48,8
C20	152,1	100,1	65,8	94,7	62,2	94,1	61,9	87,9	57,8
C21	207,7	86,0	41,4	85,6	41,2	85,1	41,0	76,6	36,9
C22	75,3	41,6	55,3	41,3	54,9	40,3	53,5	35,0	46,4
C23	62,8	39,5	62,8	38,9	61,9	38,4	61,1	37,0	58,9
C24	116,6	63,3	54,2	62,2	53,3	64,8	55,6	58,3	50,0
<b>Pi Total (mm)</b>		1.603,7		1.519,0		1.499,3		1.384,9	
<b>Pi Média (mm)</b>		66,8	60,4%	63,3	57,3%	62,5	57,1%	57,7	52,3%
<b>Maior Pi (mm)</b>		202,6		171,3		168,6		166,4	
<b>Menor Pi (mm)</b>		3,2		2,9		3,1		2,7	

em que: E1 = Espaçamento de 3,5x3,5m; E2 = Espaçamento de 3,5x1,75m; E3 = Espaçamento de 1,75x1,75m; E4 = Espaçamento de 1,75x0,75m.

Quando se comparam a precipitação interna em cada espaçamento, observam-se disparidades na taxa de precipitação que consegue chegar até o interior do povoamento, devido à variabilidade existente entre as árvores. Dessa forma, os valores da precipitação interna demonstraram tendência de decréscimo com o aumento da densidade populacional de plantas, decorrente principalmente da arquitetura do dossel, uma vez que o povoamento mais adensado apresenta dossel

mais fechado. Leite et al. (1999) verificaram que a precipitação interna diminuiu linearmente com o aumento da densidade de plantas, decorrente da maior interceptação da chuva pelas copas. Neal (1991) comentou que a precipitação interna pode variar em função da topografia, tipo de cobertura vegetal, tamanho e espaçamento entre as árvores, assim como a variação na intensidade e na duração das chuvas.

É possível observar que existe uma relação linear crescente entre a Pt e a Pi, em que grandes eventos de chuva resultam em altos valores de precipitação interna, onde a estimativa dos valores apresentaram coeficientes de determinação superior a 0,90 em ambos espaçamentos (Figura 12).

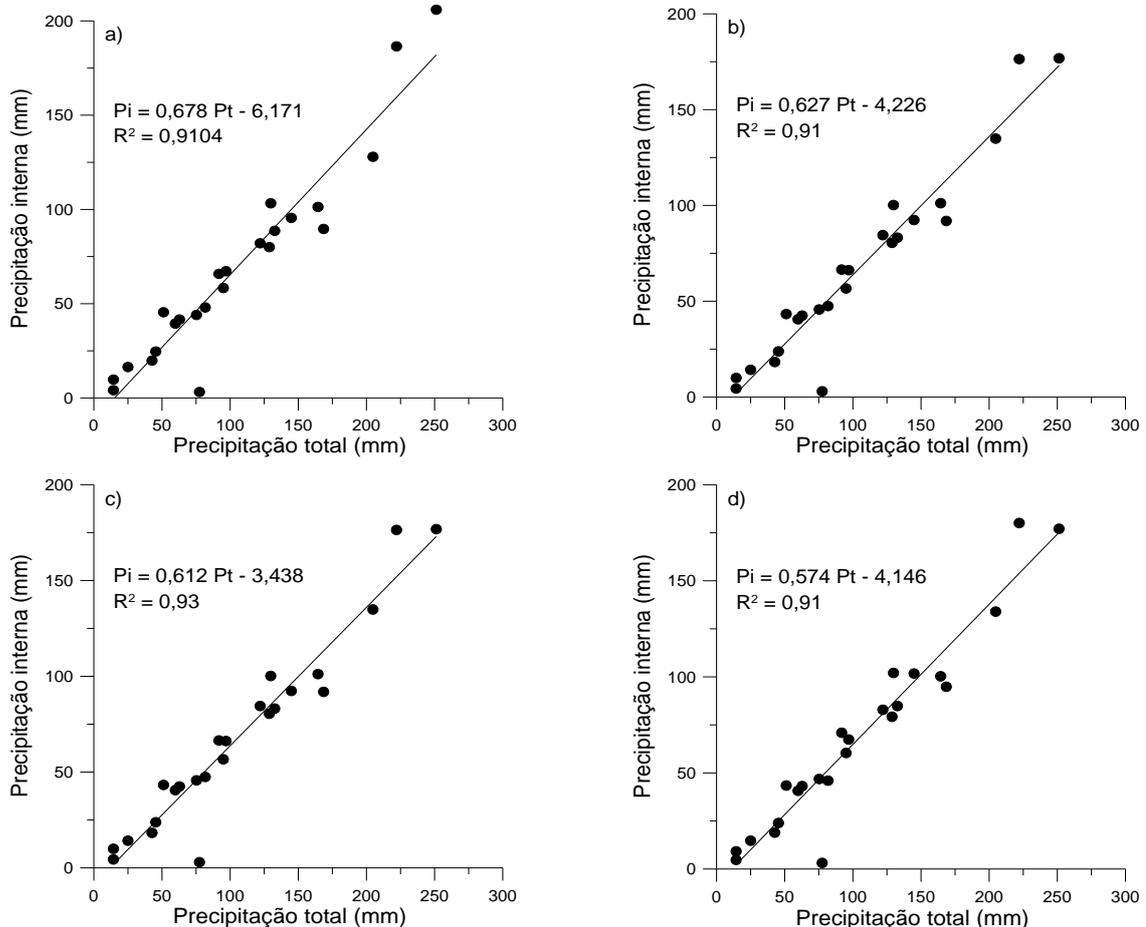


Figura 12 - Relação entre a Precipitação total (Pt) e a Precipitação interna (Pi) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. a) espaçamento de 3,5x3,5m; b) 3,5x1,75m; c) 1,75x1,75m e d) 1,75x0,75 m entre árvores. São Francisco de Assis, RS.

#### 4.2.2 Escoamento pelo tronco

O escoamento pelo tronco é a fração da chuva que é retida temporariamente pelas copas juntamente com aquela que atinge diretamente os troncos e que posteriormente escoam pelo tronco das árvores, chegando ao solo (OLIVEIRA JUNIOR; DIAS, 2005), o que corresponde de 1 a 15 % do total precipitado (TUCCI, 2001). A Tabela 5 apresenta o resumo dos valores encontrados para o escoamento pelo tronco nas 24 coletas monitoradas. Em alguns períodos, algumas coletas foram perdidas devido ao tamanho do reservatório, dessa forma, os valores marcados foram estimados com base na análise de regressão feita entre o escoamento pelo tronco e a precipitação total nos períodos que não houve extravasamento do fluxo de água coletado (Figura 13).

O escoamento total de água pelo tronco foi de 54,0; 124,6; 139,9 e 328,6 mm para os espaçamentos E1, E2, E3 e E4, respectivamente (Tabela 5). Considerando todas as medições, o escoamento pelo tronco correspondeu de 0,2 a 3,5 % da precipitação total incidente para o espaçamento E1; de 0,2 a 6,5 % para o espaçamento E2; de 0,3 a 9,8 % para o espaçamento E3 e de 4,7 a 30,1 % para o espaçamento E4. Diante disso, percebe-se um aumento na entrada da água da chuva através do escoamento pelo tronco à medida que aumenta a densidade de plantas. Sacramento Neto (2001) encontrou valores de escoamento pelo tronco variando de 1,5 a 2,4% do total da precipitação incidente em povoamentos jovens de eucalipto. Zoluaga (2013) encontrou valor de escoamento pelo tronco de 5,9% em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. Em um povoamento de *Pinus* no nordeste Argentino, Caldato (2011) verificou que o escoamento pelo tronco foi de 4,6% em relação à precipitação total. Em povoamentos de Floresta Estacional Semidecidual, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus* sp. o escoamento pelo tronco foi de 1% da precipitação total (SHINZATO et al., 2011).

Tabela 5 - Escoamento pelo tronco (EscT) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

Coletas	Pt	EscT - E1		EscT - E2		EscT - E3		EscT - E4	
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
C1	25,0	0,4	1,6	0,9	3,6	0,8	3,3	3,4	13,7
C2	95,0	1,8	1,9	3,5	3,7	6,4	6,8	21,3	22,5
C3	251,3	7,0*	2,8	16,4*	6,5	17,0*	6,8	34,6*	13,8
C4	140,3	2,8	2,0	4,9	3,5	7,8	5,5	21,2	15,1
C5	45,4	0,4	0,8	1,0	2,2	1,2	2,6	2,5	5,6
C6	24,3	0,1	0,6	0,4	1,5	0,5	2,0	1,0	4,0
C7	122,0	2,1*	1,7	5,1*	4,2	5,2	4,3	14,0	11,5
C8	51,1	0,8	1,7	1,0	1,9	2,0	3,9	5,5	10,8
C9	42,7	0,1	0,2	0,6	1,4	0,9	2,0	0,8	1,9
C10	174,1	2,9	1,6	9,1*	5,2	9,9*	5,7	17,6	10,1
C11	3,6	0,0	0,4	0,0	1,0	0,1	1,9	0,2	4,7
C12	245,7	6,7*	2,7	15,8*	6,4	16,5*	6,7	42,8	17,4
C13	128,7	2,3*	1,8	5,6*	4,3	6,3*	4,9	25,4	19,7
C14	13,3	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,3	2,1
C15	204,8	5,0	2,4	11,8	5,8	12,6	6,1	26,2	12,8
C16	59,8	1,4	2,4	3,4	5,7	4,4	7,4	5,4	9,1
C17	81,8	0,8	1,0	3,0	3,7	2,9	3,6	5,1	6,2
C18	144,9	2,9	2,0	5,7	3,9	8,5	5,9	11,4	7,9
C19	114,5	1,9*	1,6	4,3	3,8	5,2	4,5	8,4	7,4
C20	152,1	3,0*	2,0	7,3*	4,8	8,1*	5,3	22,2	14,6
C21	207,7	5,1*	2,4	12,1	5,8	6,6	3,2	14,1	6,8
C22	75,3	2,4	3,2	4,3	5,8	4,8	6,4	7,4	9,9
C23	62,8	2,2	3,5	3,6	5,7	6,1	9,8	18,9	30,1
C24	116,6	1,9*	1,7	4,8*	4,1	6,1	5,3	18,9	16,2
<b>EscT Total (mm)</b>		54,0		124,6		139,9		328,6	
<b>EscT Média (mm)</b>		2,2	1,7%	5,2	3,9%	5,8	4,8%	13,7	11,4%
<b>Maior EscT (mm)</b>		3,6		6,3		12,0		42,8	
<b>Menor EscT (mm)</b>		0,0		0,0		0,0		0,2	

em que: Pt = precipitação total; E1 = Espaçamento de 3,5x3,5m; E2 = Espaçamento de 3,5x1,75m; E3 = Espaçamento de 1,75x1,75m; E4 = Espaçamento de 1,75x0,75m. \*Valores estimados com base na análise de regressão feita entre o escoamento pelo tronco e a precipitação total.

Muitas vezes o escoamento pelo tronco é um valor negligenciado por alguns autores por significar pequenos percentuais e geralmente equivale a uma pequena parte da entrada de água no ciclo de hidrológico das florestas, em torno de 1% a 5% (OLIVEIRA et al., 2008; LIMA; NICOLIELO, 1983). Embora represente uma pequena fração de entrada de água em muitas florestas, em outras o escoamento pelo tronco

pode contribuir com mais de 20% da distribuição da água da chuva (HOELSCHER et al., 1998), podendo contribuir para a manutenção e abastecimento de mananciais, bem como de lençóis freáticos (TONELLO et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2008) ou ainda, promover a distribuição localizada da precipitação ao redor do tronco, sendo favorável à planta, principalmente, nos períodos menos chuvosos (MOURA et al., 2009). Após ter sua velocidade reduzida pelas folhas e galhos e a casca do tronco, a chuva lixivia nutrientes do tronco que contribuem para a ciclagem de nutrientes.

O fluxo de água para o interior do povoamento através do escoamento pelo tronco das árvores está relacionado a vários fatores como a precipitação, as características da vegetação e as técnicas de manejo adotadas, como o espaçamento de plantio. Embora a precipitação apresente uma relação direta com o escoamento pelo tronco, a duração e a intensidade dos eventos de chuva e a velocidade do vento no momento da precipitação são os fatores que afetam diretamente a entrada de água pelo escoamento pelo tronco (FRANKEN et al., 1982; LINDBERG et al., 1986). Isso corrobora com a Tabela 5, onde as coletas com maior precipitação acumulada como C3 e C12 (251,3 e 222,1 mm, respectivamente), nem sempre apresentaram as maiores contribuições por escoamento pelo tronco. Enquanto as coletas com baixa precipitação acumulada apresentaram pequena/nula contribuição. Isto pode ser decorrente das coletas, uma vez que as mesmas correspondem a coletas de precipitações acumuladas (períodos de 15 dias), podendo apresentar vários eventos de baixa intensidade, o que resulta em um baixo escoamento pelo tronco, afinal uma certa quantidade de água da chuva precisa primeiro molhar a área da superfície do tronco das árvores individuais para, posteriormente, escorrer pelo tronco e produzir uma captura mínima de escoamento pelo tronco.

Pode-se observar uma tendência de aumento da quantidade de água que escoou pelo tronco das árvores conforme aumenta o número de plantas no povoamento, ou seja, o povoamento mais adensado (E4) apresentou uma média de 12% da precipitação total que entrou através do escoamento pelo tronco, enquanto o espaçamento mais amplo (E1), que apresenta maior área útil por árvores individual, apresentou menor quantidade de água que entra no plantio através do escoamento pelo tronco (média de 1,7% da precipitação total). Portanto, o escoamento pelo tronco representa uma importante contribuição para o fluxo de água nos espaçamentos mais adensados, onde se tem um maior número plantas por hectare.

A Figura 13 apresenta a dispersão, modelo de regressão e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) do escoamento pelo tronco e precipitação total incidente para cada espaçamento entre árvores nos povoamentos estudados. Os coeficientes de determinação foram altos ( $R^2 > 0,80$ ), demonstrando uma relação positiva entre essas duas variáveis.

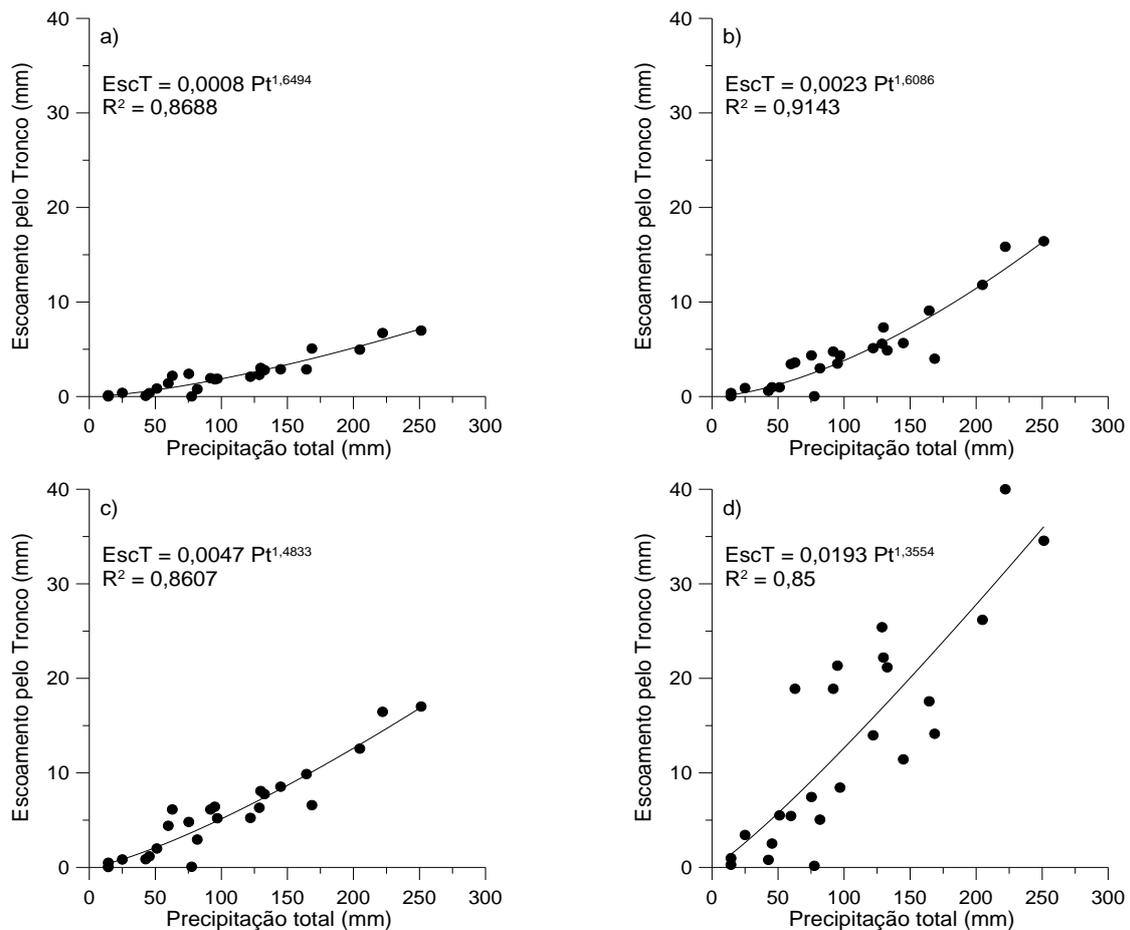


Figura 13 - Precipitação total e Escoamento pelo tronco em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, a) espaçamento de 3,5x3,5m; b) espaçamento de 3,5x1,75m; c) espaçamento de 1,75x1,75m e d) espaçamento de 1,75x0,75m. São Francisco de Assis, RS.

Além disso, pode-se constatar que o escoamento pelo tronco depende da quantidade de precipitação total que incide sobre a floresta, uma vez que valores de precipitação total inferiores a 13,3 mm resulta em um EscT mínimo em todos os espaçamentos entre árvores estudados, demonstrando que, a entrada de água da chuva pelo escoamento depende de um mínimo de valor de precipitação total.

Shinzato et al. (2011) observou que o escoamento pelo tronco tornou-se presente após precipitações totais incidentes iguais ou superiores a 11 mm, 6,6 mm e 8,2 mm para os povoamentos de Floresta Estacional Semidecidual, *E. cloeziana* e *Pinus* sp., respectivamente. Conforme os autores, isso significa que valores de precipitação incidente inferiores a estes, para essas características de plantio das florestas, não são capazes de gerar o processo de escoamento pelo tronco, sendo a chuva retida pela copa ou pelo próprio tronco, retornando à atmosfera por evaporação.

#### 4.2.3 Intercepção pela copa das árvores

A intercepção da água da chuva é determinada pela diferença entre a precipitação total incidente na floresta e a precipitação efetiva, a qual corresponde ao somatório da precipitação interna e o escoamento pelo tronco das árvores. Assim, neste estudo, a quantidade total de água da chuva interceptada pela floresta de eucalipto foi de 925,1 mm para o E1, 947,2 mm para o E2, 943,5 mm para o E3 e 869,2 mm para o E4 (Tabela 6). A intercepção é um processo que ocorre em todos os eventos de chuva, sendo verificado uma variação de 11% a 72%, dependendo da frequência e duração do evento da chuva.

A intercepção máxima observada no plantio de *E. dunnii* foi no tratamento E2, com 118,1 mm, que corresponde a 56,9 % da precipitação total (207,7 mm), conforme pode-se observar na Tabela 6. Esta taxa alta de intercepção pode ter sido decorrente do período seco e quente, entre os dias 06-08-2014 a 03-09-2014, que resulta em altas taxas evaporativas da água da chuva retida nas folhas das árvores.

Tabela 6 - Intercepção pela copa das árvores (I) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

Coletas	Pt	I - E1		I - E2		I - E3		I - E4	
	mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
C1	25,0	8,6	34,4	11,1	44,6	10,3	41,1	8,8	35,1
C2	95,0	36,7	38,6	38,3	40,4	34,6	36,4	23,7	24,9
C3	251,3	41,7	16,6	64,3	25,6	68,7	27,3	50,3	20,0
C4	140,3	51,6	36,8	57,1	40,7	55,4	39,5	44,4	31,7
C5	45,4	20,8	45,7	21,6	47,6	21,5	47,2	22,1	48,8
C6	24,3	14,6	60,0	14,4	59,2	15,1	62,2	15,1	62,0
C7	122,0	40,0	32,8	36,8	30,1	40,2	32,9	35,9	29,4
C8	51,1	5,7	11,1	7,8	15,3	7,7	15,0	5,7	11,2
C9	42,7	22,9	53,6	24,4	57,2	23,8	55,7	24,8	58,2
C10	174,1	72,5	41,6	69,3	39,8	71,0	40,8	70,4	40,4
C11	3,6	0,4	10,9	0,6	17,0	0,4	10,8	0,7	19,2
C12	245,7	55,7	22,7	58,5	23,8	60,6	24,7	45,6	18,6
C13	128,7	49,1	38,2	47,7	37,0	50,3	39,1	36,7	28,5
C14	13,3	9,2	69,2	8,9	66,9	8,6	64,4	9,6	71,7
C15	204,8	75,1	36,7	64,2	31,4	70,3	34,3	74,5	36,4
C16	59,8	20,3	34,0	19,2	32,1	19,1	31,9	23,3	38,9
C17	81,8	33,8	41,3	34,3	41,9	35,8	43,7	35,1	43,0
C18	144,9	49,4	34,1	52,5	36,2	43,1	29,8	53,9	37,2
C19	114,5	47,7	41,7	48,3	42,2	47,1	41,1	50,2	43,9
C20	152,1	49,0	32,2	50,1	32,9	49,9	32,8	42,0	27,6
C21	207,7	116,6	56,1	118,1	56,9	116,0	55,9	117,0	56,3
C22	75,3	31,3	41,5	29,6	39,3	30,2	40,1	32,9	43,7
C23	62,8	21,2	33,7	20,3	32,4	18,3	29,2	6,9	11,0
C24	116,6	51,4	44,1	49,7	42,6	45,7	39,2	39,5	33,8
<b>I Total (mm)</b>		925,1		947,2		943,5		869,2	
<b>I Média (mm)</b>		38,5	37,8	39,5	38,9	39,3	38,1	36,2	36,3
<b>Maior I (mm)</b>		116,6		118,1		116,0		117,0	
<b>Menor I (mm)</b>		0,39		0,60		0,38		0,7	

em que: Pt = precipitação total; E1 = Espaçamento de 3,5x3,5m; E2 = Espaçamento de 3,5x1,75m; E3 = Espaçamento de 1,75x1,75m; E4 = Espaçamento de 1,75x0,75m.

Curiosamente a menor intercepção da precipitação pluviométrica observada no plantio de *E. dunnii* foi entre os dias 29/02/14 á 13/03/14, período este que foi verificado a menor precipitação total incidente, ou seja, 3,6mm, onde a intercepção variou de 10,8 a 19,2% nos diferentes espaçamentos. Conforme descreve Lima (2008), em eventos com baixo volume de chuva, quase a totalidade da água da chuva é retida nas folhas e galhos, sendo posteriormente, evaporada. Concordando

com Arcova et al. (2003) que encontraram as maiores porcentagens de interceptação em floresta de Mata Atlântica nos períodos pouco chuvosos, com valor médio de 26% da precipitação total incidente. Caldato (2011) verificou que 26,5% da precipitação total foi interceptada pela copa das árvores de Pinus. Zoluaga (2013) verificou que a interceptação da chuva pelo dossel do eucalipto foi de 13,3% da precipitação total.

A correlação entre a taxa percentual de interceptação e a precipitação total acumulada foi de -0,05 para o E1, -0,07 para o E2, -0,04 para o E3 e para o E4 - 0,07. Essa baixa correlação, pode ser consequência da alta variabilidade da vegetação, a qual proporciona distintos valores de precipitação interna e escoamento pelo tronco, sendo ainda influenciada também pelas características de cada evento de chuva e as condições climáticas. Zoluaga (2013) comenta que essa variação pode ser ainda justificada pela interferência de outros fatores, como a intensidade de chuva, o grau de umidade da cobertura, a velocidade do vento, a característica da vegetação e o intervalo entre chuvas. Segundo Tucci (2002) a velocidade do vento é um fator climático muito significativo na interceptação; todavia, o real efeito do vento depende de outros fatores, como a velocidade, duração e intensidade da chuva, além da umidade do ar (SILVA JUNIOR, 2008).

Pode-se observar na Tabela 6 que a interceptação foi menor em precipitações maiores, o que corrobora com Soares e Almeida (2001) que comentam que a fração de interceptação é menor para maiores intensidades de chuva. Blake (1975) relata que, em pequenos volumes de precipitação, abaixo de 0,3 mm, a floresta retém toda a chuva e em precipitações superiores a 1 mm, de 10 a 40 % pode ficar retido, dependendo da intensidade e frequência da chuva.

#### 4.2.4 Escoamento superficial de água no solo

No ano avaliado, o escoamento superficial foi de 148 mm, correspondendo a 4,4 % da precipitação total (Tabela 7). Esse baixo valor pode ser explicado pela pequena declividade, de aproximadamente 4 % e, também, a grande quantidade de serrapilheira acumulada sobre a superfície do solo que reduzem a energia cinética

do impacto das gotas da chuva no solo, favorecendo a infiltração da água da chuva na superfície do solo (ZOLUAGA, 2013).

Tabela 7 - Escoamento superficial da água da chuva no solo em povoamento de *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

Coletas	Precipitação total	Escoamento Superficial	
	(mm)	(mm)	(%)
C1	25,0	0,1	0,6
C2	95,0	0,7	0,8
C3	251,3	10,5	4,2
C4	140,3	9,4	6,7
C5	45,4	0,7	1,5
C6	24,3	0,5	2,2
C7	122,0	17,5	14,3
C8	51,1	2,9	5,6
C9	42,7	0,7	1,7
C10	174,1	4,4	2,5
C11	3,6	0,0	0,0
C12	245,7	22,7	9,2
C13	128,7	6,0	4,6
C14	13,3	0,1	0,4
C15	204,8	8,6	4,2
C16	59,8	0,6	1,0
C17	81,8	2,6	3,2
C18	144,9	5,3	3,6
C19	114,5	4,1	3,6
C20	152,1	6,0	3,9
C21	207,7	32,2	15,5
C22	75,3	2,4	3,2
C23	62,8	7,2	11,5
C24	116,6	2,8	2,4
<b>Escoamento Superficial Total (mm)</b>		148,0	
<b>Escoamento Superficial Média (mm)</b>		6,2	4,4%
<b>Maior Escoamento Superficial (mm)</b>		32,1	
<b>Menor Escoamento Superficial (mm)</b>		0,0	

Em condições naturais, o escoamento superficial é um fenômeno indesejado, uma vez que representa uma parcela de água da chuva que deixa de infiltrar no solo podendo provocar perdas de solo através do processo de erosão. As maiores perdas

de água nem sempre coincidiram com as coletas de maior precipitação acumulada, como nas coletas C7; C21 e C23, com precipitação de 122; 207,7 e 62,8 mm, com escoamento 14,3; 15,5 e 11,5 % do total precipitado, respectivamente. O escoamento superficial está diretamente relacionado com as características de cada evento, ou seja, com a velocidade, duração e intensidade da chuva, além da umidade inicial do solo. Adicionalmente, as perdas de água e de solo podem estar condicionadas ao manejo, tipo de cobertura e tipo de solo (VILLELA; MATOS, 1979; TUCCI, 2002).

### **4.3 Fluxo de água que atinge o solo**

A análise do regime de precipitações no período de 12 meses avaliados mostrou que, do total de 2.593 mm de precipitação incidente, a precipitação efetiva ( $P_i + EscT$ ) representou, respectivamente, 1658, 1635, 1639 e 1713mm do total precipitado para os espaçamentos E1, E2, E3 e E4 (Figura 14). Pode-se observar que, conforme houve aumento do número de árvores por hectare a precipitação efetiva foi maior, a interceptação menor e, conseqüentemente, a quantidade de água que atingiu o solo foi maior. Apesar da pequena diferença na quantidade de água da chuva que passa através das copas nos povoamentos, a menor interceptação nos tratamentos mais adensados é decorrente da maior entrada de água da chuva através do escoamento pelo tronco, uma vez que a precipitação efetiva é composta pela soma entre a precipitação interna e o escoamento pelo tronco (SHINZATO et al., 2011). O maior adensamento das árvores proporciona copa das árvores mais homogêneas e fechadas e, dessa forma, os galhos crescem mais voltados para a vertical, favorecendo a captação individual da água e o direcionamento da água interceptada pela copa das árvores.

A quantidade de água interceptada pelas copas variou de 34% a 37%. Esse resultado é superior ao observado por Almeida e Soares (2003) que encontraram 11% de interceptação em floresta de eucalipto e 24% em floresta de Mata Atlântica. Zoluaga (2013) verificou que a interceptação da chuva pelo dossel do eucalipto foi de 13,3% da precipitação total. A interceptação é um processo que ocorre em todos os eventos de chuva, sendo mais expressiva quando a gota d'água é menor e,

também, quando o total precipitado é menor (LARCHER, 2006). Em pequenos volumes de precipitação, abaixo de 0,3mm, a floresta pode reter toda a chuva e em precipitações superiores a 1mm, de 10 a 40% pode ficar retido, dependendo da intensidade e frequência da chuva (BLAKE, 1975). Em anos com mais eventos de chuva e menor volume total precipitado, o percentual de perdas por interceptação é maior, uma vez que as perdas por interceptação podem estar mais relacionadas com o número de eventos do que com o volume total de chuva.

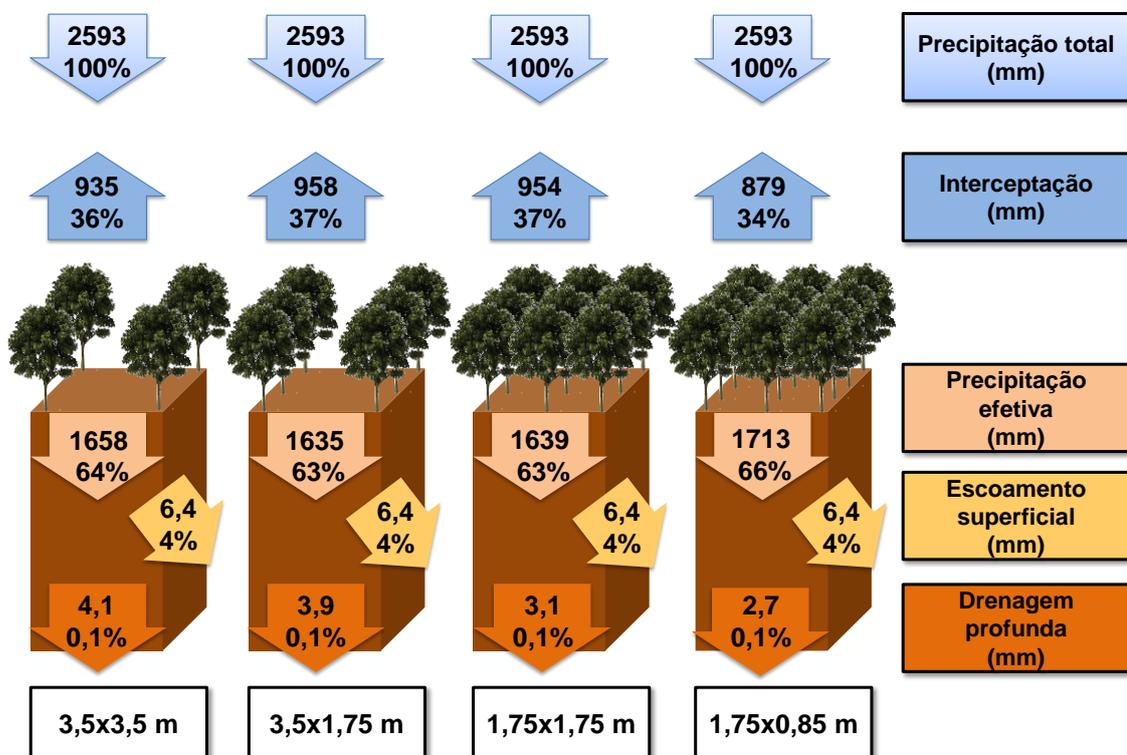


Figura 14 - Quantitativos relativos anuais (%) da Precipitação total (Pt), da precipitação Efetiva (Pe = precipitação interna (Pi) + escoamento pelo tronco (EscT)), Interceptação (I = Pt - Pe), em povoamento de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes espaçamentos de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. São Francisco de Assis-RS.

#### 4.4 Balanço hídrico e Evapotranspiração

O conteúdo de água no solo, a variação do armazenamento e da perda de água por drenagem profunda foi calculada para cada camada de solo nas 24 coletas

realizadas, considerando a média diária das leituras realizadas pelo TDR em todos os espaçamentos de plantio de *E. dunnii*. Com essas informações foi calculado os valores de evapotranspiração para cada período (Figura 15). A variação média do armazenamento de água no solo até a profundidade de 2,10m ocorreu em função da entrada de água pela precipitação e a consequente redistribuição no perfil do solo. Os valores negativos indicam que, nesses períodos, a precipitação foi inferior ao período anterior, provocando a redução na recarga de água no solo, aliado às perdas pelo processo de transpiração das plantas, evaporação e drenagem da água do solo. O padrão das variações do armazenamento de água no solo é semelhante entre as densidades de plantas, provavelmente devido à entrada de água pela precipitação efetiva ser semelhante entre os tratamentos, decorrente dos efeitos compensatórios do crescimento das árvores em função do espaçamento.

A ascensão capilar ou drenagem profunda representa a quantidade de água que entra por movimento ascendente (fluxo positivo) e sai por movimento descendente (fluxo negativo), respectivamente, do perfil do solo. Durante o período de avaliação, esses dois processos representaram valores muito baixos, sendo mais expressiva a drenagem profunda, representada pelos valores negativos da Figura 2b. A abundante e regular precipitação ocorrida no período favoreceu a drenagem do excesso de água para as camadas inferiores do perfil de solo que, mesmo sendo uma parcela pequena de água perdida, não deve ser desprezada na contabilização do balanço hídrico, uma vez que é a principal responsável pela recarga das águas subterrâneas e do lençol freático (LARCHER, 2006; LIMA, 2008).

A partir da Figura 15 e da Tabela 8 é possível observar os valores médios, máximos e mínimos da evapotranspiração e evapotranspiração diária para a cultura nos diferentes densidade de plantas. A evapotranspiração média variou de 55,0 a 59,9mm e de 4,0 a 4,5mm/dia, com valores muito próximos entre os espaçamentos de plantio, provavelmente devido à idade do povoamento, uma vez que neste estágio de desenvolvimento as árvores apresentam um sistema radicular bem desenvolvido e com grande competição entre as plantas, independente do espaçamento. Da mesma forma, Leite et al. (1999) em nenhuma época encontraram diferenças consistentes entre a evapotranspiração em povoamento de eucalipto plantados em diferentes densidades de plantas. Os autores constataram que a transpiração da cultura é controlada somente pela disponibilidade de água no solo,

uma vez que nas épocas com maior volume de água disponível às plantas a transpiração das culturas tende a ser maior.

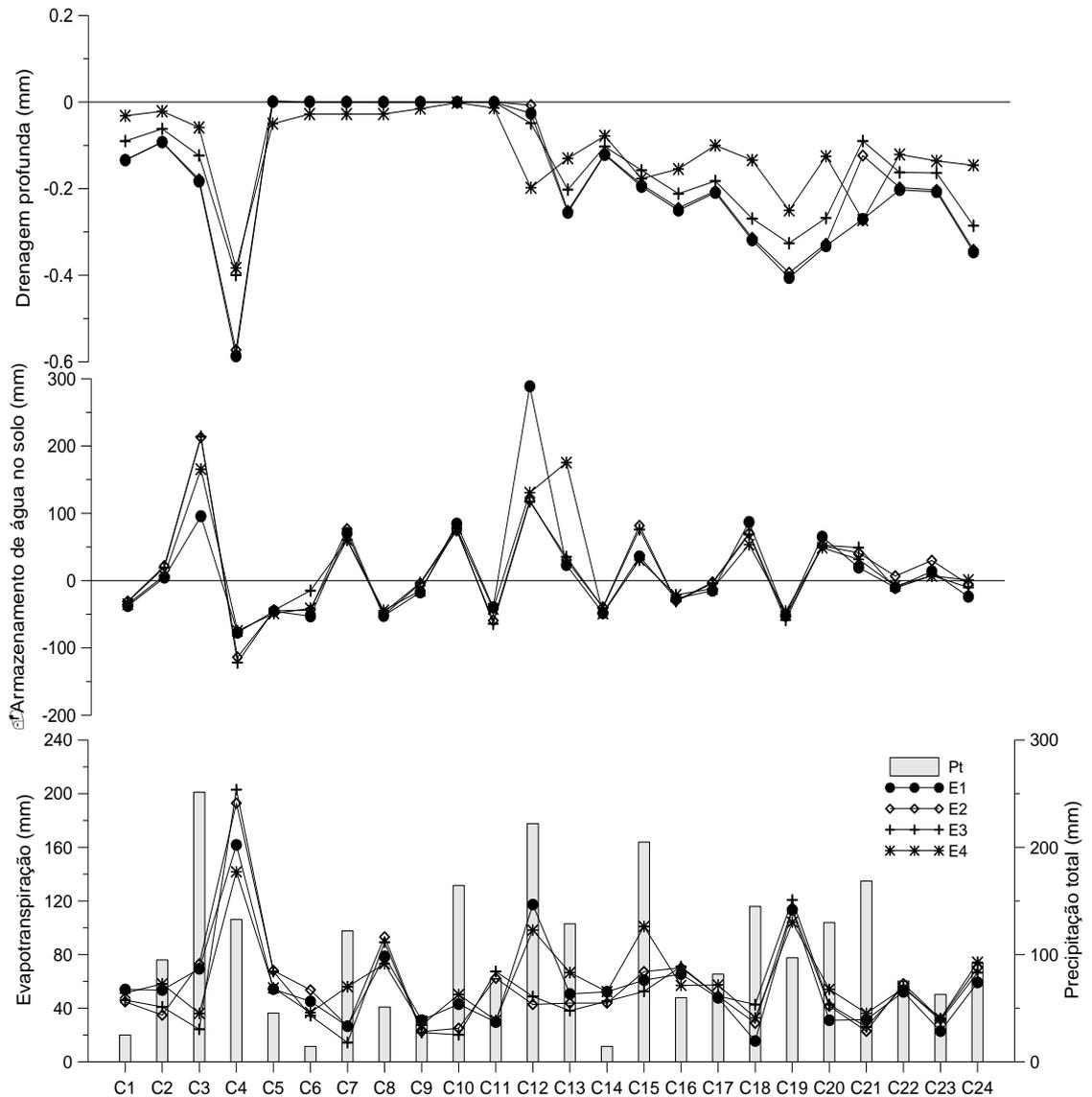


Figura 15 - Valores médios acumulados da variação da precipitação total (mm), conteúdo de água no solo (mm), armazenamento de água no solo (mm) para o perfil de 2,30m de profundidade, percolação profunda (mm) e evapotranspiração (mm) para o período de avaliação.

Tabela 8 - Evapotranspiração média acumulada (mm) e evapotranspiração diária (mm dia<sup>-1</sup>) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, sob diferentes espaçamentos de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014. São Francisco de Assis-RS.

	Evapotranspiração (mm)-2013				Evapotranspiração (mm dia <sup>-1</sup> )-2014			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b>Média</b>	56,9	57,6	55,0	59,9	4,2	4,3	4,0	4,5
<b>Máxima</b>	161,8	192,9	203,0	141,7	10,4	11,7	11,2	11,0
<b>Mínima</b>	15,6	22,5	14,3	27,4	1,1	0,8	0,9	1,3

A evapotranspiração média calculada neste estudo apresentou valores altos, o que pode estar relacionado com a precipitação ocorrida no período (2.593 mm), a qual foi superior à média histórica da região que varia de 1.250 a 1.500 mm (NIMER, 1989), o que favorece o aumento da quantidade de água armazenada no solo e, conseqüentemente a evapotranspiração. Contudo, Sacramento Neto (2001) encontrou valores de evapotranspiração variando de 1,0 a 8,60 mm dia<sup>-1</sup> para eucalipto com dois anos de idade na região de Belo Oriente-MG. Esse mesmo autor constatou que a transpiração das árvores diminui na estação seca, período que coincide com o menor armazenamento de água no solo, conferindo uma menor capacidade transpiratória. Essa tendência corrobora com estudos realizados por Leite et al. (1999) estudando diferentes espaçamentos de plantio em povoamento de eucalipto com 3 anos de idade, obteve nas parcelas de maior espaçamento entre plantas valores de evapotranspiração variando de 0,91 a 4,48mm dia<sup>-1</sup> e, nas parcelas com menor espaçamento, de 0,74 a 5,58mm dia<sup>-1</sup>, no período seco e no de maior disponibilidade de água, respectivamente.

A maior demanda de água para o processo de evapotranspiração realizado pelas plantas é suprida, principalmente, pela umidade extraída das camadas superficiais do solo e, à medida que o conteúdo de umidade dessa camada diminui, ocorre uma diminuição proporcional da evapotranspiração, ou seja, as plantas reduzem seu crescimento em função da baixa quantidade de água disponível, mantendo equilibrada a demanda hídrica com a disponibilidade de água no solo (LIMA, 1996). Resultados similares foram encontrados por Almeida e Soares (2003) a partir de um modelo de uso da água em plantações de *E. grandis* em Aracruz-ES,

onde nos anos em que a precipitação é próxima aos valores da média histórica, existe um equilíbrio entre a precipitação e a evapotranspiração.

A evapotranspiração é a soma dos componentes de transpiração, evaporação do solo e reevaporação da água interceptada e, portanto, é determinada pelas variações climáticas, mecanismos fisiológicos como a resposta estomática a fatores ambientais e, principalmente, pela disponibilidade de água no solo (LIMA, 1996). Diante disso, pode-se observar na Figura 16, que durante alguns períodos do ano, o volume precipitado não foi suficiente para suprir a demanda hídrica das plantas e da atmosfera. Os valores positivos são os períodos em que a chuva atendeu suficientemente a esta demanda, e os negativos são os períodos de chuva insuficientes, causando uma depleção no volume de água armazenado no solo. Quando a cobertura vegetal do solo é adequada, a taxa de evapotranspiração é mais alta, conseqüentemente, um volume maior de água retorna para a atmosfera, favorecendo a precipitação, diminuição do processo erosivo do solo devido ao aumento da infiltração em detrimento do escoamento superficial favorecendo o recarregamento dos aquíferos, pois a água infiltra com maior facilidade no solo nos espaços porosos deixados pelas raízes (LIMA, 1996).

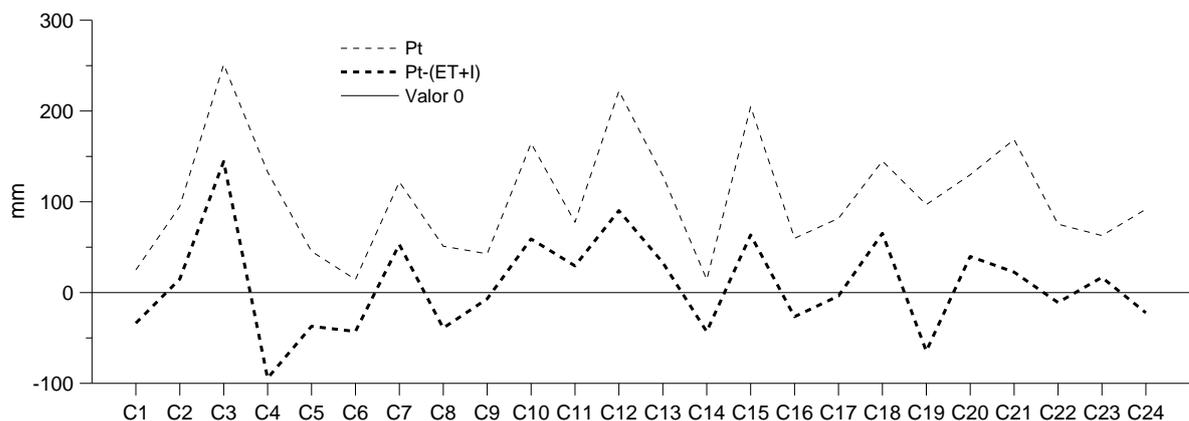


Figura 16 - Resumo da diferença entre a precipitação total incidente (Pt) e a soma da evapotranspiração (ET) e interceptação (I) em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, nas diferentes densidades de plantio, durante o período de Outubro de 2013 a Outubro de 2014.

A quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode ser bem representativa, de acordo com Studart (2003) cerca de 70% da quantidade da água

precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da transpiração, interceptação e evaporação direta da água do solo. Neste estudo, 91,8% da água precipitada retornou para a atmosfera. Em estudo comparando microbacias com eucalipto e pastagem no leste de Minas Gerais, Almeida (2012) verificou que 95% e 83% da precipitação total retornou à atmosfera por meio da evapotranspiração em floresta de eucalipto e pastagem, respectivamente. Segundo Mayorga et al. (2005), quando a cobertura vegetal nas bacias hidrográficas é adequada, a taxa de evapotranspiração, definida como a perda de água do solo por evaporação e da planta por transpiração, é mais alta. Consequentemente, uma quantidade maior de água retorna para a atmosfera, favorecendo a precipitação, a diminuição do processo erosivo do solo devido ao escoamento da água das chuvas ocorrerem mais lentamente, além de favorecer o recarregamento dos aquíferos, pois a água infiltra com maior facilidade no solo por meio dos troncos e raízes das árvores, funcionando como um biofiltro.

#### **4.5 Avaliação do crescimento da floresta e biomassa acima do solo**

A análise dos valores obtidos nos diferentes compartimentos de biomassa mostrou coeficientes de variação entre 5,9% para altura das árvores e 63,3% para biomassa de folhas, indicando, com exceção da dimensão altura, alta variabilidade dos dados observados (Tabela 9), decorrente da variabilidade da metodologia. O diâmetro médio das árvores, aos 5 e 6 anos de idade, foi crescente com o aumento do espaçamento, concordando com e Leite et al. (1997) que descrevem que povoamentos com espaçamentos mais amplos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro maior, com pouco efeito no crescimento em altura.

Maiores valores de volume por hectare foram verificados nos espaços vitais menos amplos, justificado pelo maior número de árvores nestes espaçamentos. Em povoamentos menos densos, o espaço para o crescimento de cada árvore é ampliado, proporcionando maior crescimento em diâmetro, maior conicidade e bom desenvolvimento radicial e da copa; esse conjunto de características contribui diretamente na qualidade e na produção em termos individuais, entretanto, resultam em menor volume por hectare (LEITE et al., 1997).

Tabela 9 - Características dendrométricas e biomassa seca acima do solo do povoamento de *Eucalyptus dunnii*, sob diferentes espaçamentos de plantio. São Francisco de Assis-RS.

	Dap (cm)	h (m)	Vcc (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Madeira	Galhos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Folhas (Mg ha <sup>-1</sup> )	BT
<b>2013</b>							
E1	17,8 a	14,9 a	44,8 b	70,7 a	16,7 a	10,2 a	97,6 a
E2	15,2 ab	16,2 a	77,9 b	64,8 a	11,1 ab	4,9 b	80,7 a
E3	12,8 bc	16,6 a	124,3 ab	55,2 ab	6,3 b	3,8 b	64,6 ab
E4	11,6 c	15,9 a	197,1 a	31,1 b	4,9 b	2,5 b	38,2 ab
CV%	7,5	9,5	41,9	28,3	35,9	32,5	32,5
<b>2014</b>							
E1	20,4 a	17,4 a	122,5 a	118,3 a	31,4 a	10,1 a	157,8 a
E2	16,7 a	17,7 a	83,8 b	83,8 b	15,6 ab	5,1 a	104,6 a
E3	12,4 b	18,6 a	63,5 b	63,5 bc	6,9 b	3,9 a	71,5 bc
E4	11,6 b	17,8 a	36,0 c	36,03 c	6,2 b	2,7 a	41,4 c
CV%	8,8	5,9	12,5	63,3	18,2	42,0	42,0

Onde: E1 = Espaçamento de 3,5x3,5m; E2 = Espaçamento de 3,5x1,75m; E3 = Espaçamento de 1,75x1,75m; E4 = Espaçamento de 1,75x0,75m; Dap = Diâmetro à altura do peito; h = altura; BT = biomassa total acima do solo; Vcc = volume com casca; IMA = incremento médio anual. \* Médias seguidas por mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade de erro.

A produção da biomassa por área apresentou tendência de redução com o aumento da densidade populacional, porém com maior produção de madeira nos espaçamentos mais amplos. A biomassa total de eucalipto acima do solo variou de 97,6 a 38,2 Mg ha<sup>-1</sup> para o espaçamento E1 e E4, respectivamente, para as árvores de eucalipto aos 5 anos de idade. Aos 6 anos de idades a biomassa total aumentou, variando de 157,8 a 41,4 Mg ha<sup>-1</sup> para o espaçamento E1 e E4, respectivamente (Tabela 10). À medida que aumenta a densidade populacional, a biomassa total por unidade de área aumenta, ao passo que a produção de biomassa por indivíduo diminui, mas com elevação da alocação de fotoassimilados no tronco.

A análise de correlação entre os parâmetros da redistribuição da chuva e a biomassa aérea de eucalipto demonstra que eventos de alta precipitação total incidente na floresta aumentam a umidade volumétrica do solo, precipitação interna, escoamento pelo tronco e a precipitação efetiva (Tabela 10). O escoamento da água pelo tronco apresentou correlação negativa com a biomassa aérea, permitindo inferir que a quantidade de água que esco pelo tronco aumenta à medida que diminui a biomassa das árvores. A evapotranspiração é favorecida quando o solo possui

elevado volume de água, evidenciada pela correlação positiva entre esses parâmetros.

Tabela 10 - Correlação de Pearson entre os parâmetros da redistribuição da chuva e biomassa aérea de eucalipto.

	<b>Pt</b>	<b>Pi</b>	<b>EscT</b>	<b>Pe</b>	<b>ET</b>
<b>Uv</b>	0,23*	0,22*	0,20*	0,24*	0,29*
<b>Madeira</b>	0,03 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,37*	0,01 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
<b>Galhos</b>	0,04 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,34*	0,03 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
<b>Folhas</b>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,40*	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>
<b>Pt</b>	1	0,95*	0,52*	0,95*	-0,03 <sup>ns</sup>
<b>Pi</b>	-	1	0,45*	0,99*	-0,01 <sup>ns</sup>
<b>EscT</b>	-	-	1	0,57*	0,08 <sup>ns</sup>
<b>Pe</b>	-	-	-	-	0,01 <sup>ns</sup>

Onde: Pt = precipitação total incidente; Pi = precipitação interna; EscT = escoamento da água pelo tronco; Pe = precipitação efetiva; ET = evapotranspiração; Uv = umidade volumétrica do solo.

#### 4.6 Eficiência do uso da água (EUA)

De maneira geral, verifica-se uma maior eficiência do uso da água (EUA) no espaçamento mais amplo, ou seja, E1 com 3,46 g l<sup>-1</sup>, seguido do E4 com 2,29 g l<sup>-1</sup>, E2 com 2,41 g l<sup>-1</sup> e o E3 com 2,24 g l<sup>-1</sup>. Estes valores são compatíveis com os encontrados por Stape et al. (2004) estudando um plantio de clones de eucalipto de 6 anos de idade no nordeste do Brasil, obtiveram em torno de 3,21 g L<sup>-1</sup>. Os autores verificaram que o aumento da precipitação aumentou indiretamente o uso da luz e nutrientes, possivelmente pelas taxas mais altas de assimilação de C, resultando em maior produção de biomassa por unidade de água transpirada. A eficiência do uso da água depende diretamente da disponibilidade hídrica no solo, uma vez que as plantas, pelo controle estomático, usam a água de maneira mais eficiente quando a disponibilidade é menor (CALDATO; SCHUMACHER, 2013).

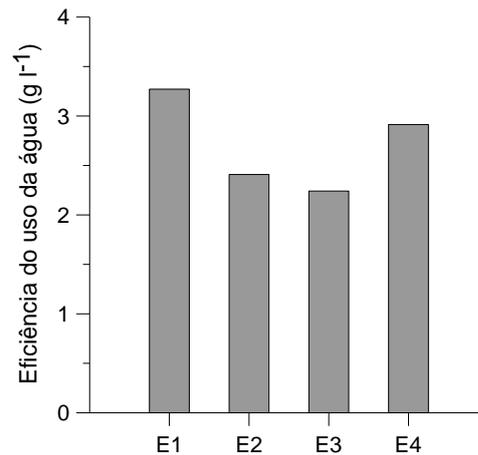


Figura 17 - Eficiência do uso da água nos diferentes espaçamentos de plantio de *E. dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

Onde: E1 = Espaçamento entre árvores de 3,5x3,5m; E2 = Espaçamento entre árvores de 3,5x1,75m; E3 = Espaçamento entre árvores de 1,75x1,75m; E4 = Espaçamento entre árvores de 1,75x0,75m.

Um dos fatores que afetam a eficiência do uso da água é o estágio de desenvolvimento da cultura, relacionado ao tamanho da superfície evapotranspirante. Whitehead e Beadle (2004) sugerem que a alta eficiência no uso de água é atribuída principalmente pela alta capacidade fotossintética. Como os povoamentos apresentam biomassa aérea recobrando o solo praticamente igual, o EUA foi semelhante entre os espaçamentos de plantio (Tabela 17). A eficiência na captura da luz está diretamente relacionada com o índice de área foliar das plantas (STAPE et al., 2004), assim, plantas que apresentam maior acúmulo de biomassa acima do solo apresentarão maior eficiência no uso dos recursos.

#### 4.7 Retenção e dinâmica da água no solo

O conteúdo volumétrico de água no solo e a precipitação pluviométrica para os diferentes espaçamentos de plantio de *E. dunnii* nos meses de Abril a Maio de 2014, para as camadas de 0 a 2,10m estão apresentados nas figuras 19 e 20. Pode-se observar que a variação da umidade no solo em todas as camadas de solo avaliadas é dependente diretamente da precipitação pluviométrica ocorrida no período, com os maiores valores nos dias de maior precipitação. O padrão das

variações de água no solo não apresentou diferenças quando se avaliou as diferentes densidades populacionais de plantas, que apresentam praticamente o mesmo conteúdo de água até a profundidade de 1,20m (Figuras 18a, b, c e d), com valores variando de 0,165 a 0,24m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e, a partir dessa camada, ocorre aumento no conteúdo de água com o aumento da profundidade do solo em todos os espaçamentos. Nas camadas acima de 1,20m de profundidade (zona com maior quantidade raízes) a umidade foi menor e, à medida que aumenta a profundidade do solo, aumenta o conteúdo volumétrico. Isso evidencia que as plantas não absorvem água a partir dessa camada, provavelmente relacionado ao tipo de solo da região, um Argissolo que apresenta horizonte B textural a partir de 1,20m de profundidade, que favorece uma maior retenção de água e dificulta a penetração das raízes. Leite et al. (1999) esclarece que, nas camadas mais profundas, as variações da água ocorrem mais em função das características do solo (estruturais e texturais) do que da densidade de plantas.

O espaçamento de plantio mais amplo (3,50x3,50m) proporcionou, na maioria das camadas de solo, o maior conteúdo volumétrico de água, diferenciando-se dos demais, com exceção das camadas 0,60-0,90m e 1,50-1,80m, onde o espaçamento mais adensado foi o que apresentou maior quantidade de água. Mesmo com essa diferença estatística, nenhum dos tratamentos e camadas exibiu umidade abaixo do ponto de murcha permanente, provavelmente em decorrência da elevada e frequente precipitação ocorrida nos meses avaliados, de 356,8mm. Além disso, a vegetação de grande porte e a presença de uma camada espessa de resíduos vegetais acumulados sobre a superfície protegem o solo do aquecimento excessivo e a conseqüente perda de água por evaporação (SILVA et al., 2006).

Portanto, não se observou grandes variações de água no solo entre os diferentes espaçamentos de plantio, em todas as camadas. Esse resultado pode ser explicado pela concorrência entre as árvores em todos os tratamentos, uma vez que as mesmas encontram-se com 6 anos de idade e, nesta fase as copas das árvores encontram-se fechadas, independentemente do espaçamento, interferindo na entrada e saída de água no povoamento de forma semelhante. Leite et al. (1999) verificaram tendência de aumento da umidade do solo com a redução da população de plantas em povoamentos de eucalipto com 3 anos de idade em Minas Gerais. Trabulsi (2011) em estudo sobre as relações hídricas em povoamento adensado de

eucalipto de 2 anos de idade também verificou que o menor espaçamento entre árvores proporcionou menor conteúdo de água no solo.

Nenhum dos tratamentos apresentou valores inferiores àqueles correspondentes à umidade retida no solo sob a tensão de 1,5MPa, que variou de 0,095 a 0,237 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> nas diferentes camadas de solo. Com base nisso, pode-se afirmar que, durante o período monitorado, o eucalipto não utilizou a água que estava retida no solo sob as tensões maiores que 1,5MPa.

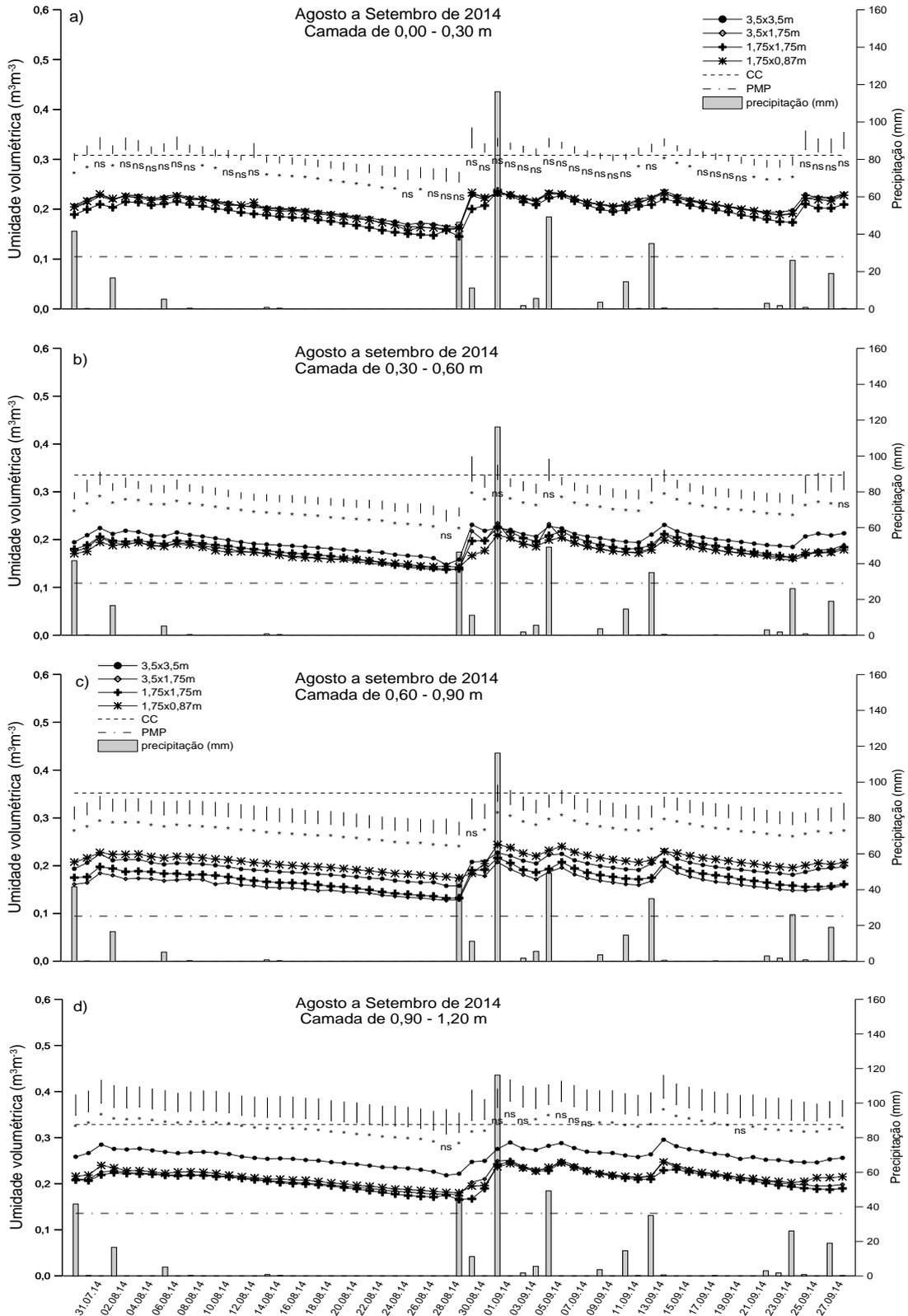


Figura 18 - Umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ) e precipitação (mm) no período de Agosto a Setembro de 2014, nas camadas de solo (a) 0,00 a 0,30 m; (b) 0,30 a 0,60 m; (c) 0,60 a 0,90 m e (d) 0,90 a 1,20 m nos diferentes espaçamentos de plantio para *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis – RS.

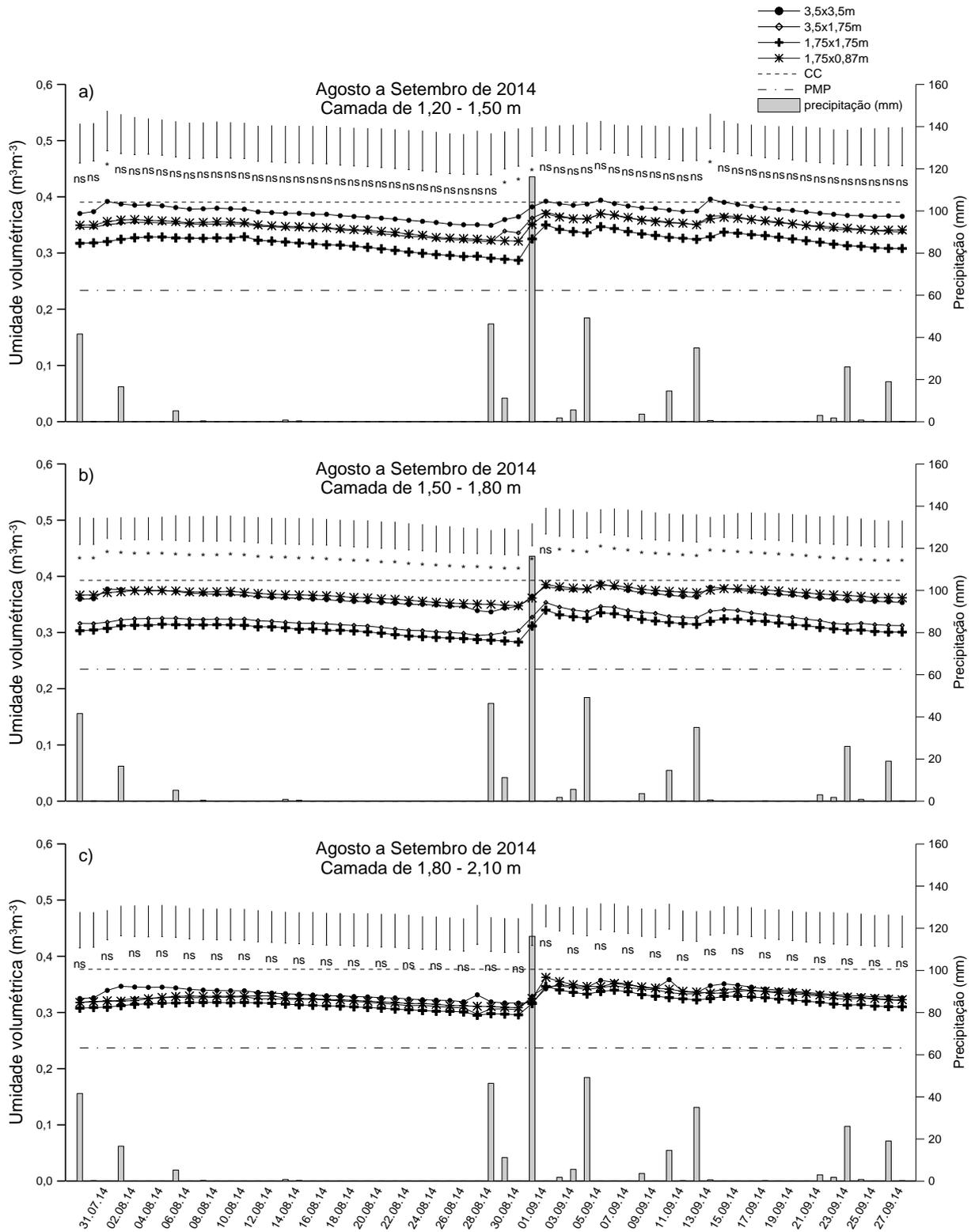


Figura 19 - Umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ) e precipitação (mm) no período de Agosto a Setembro de 2014, nas camadas de solo (a) 1,20 a 1,50 m; (b) 1,50 a 1,80 m; (c) 1,80 a 2,10 m nos diferentes espaçamentos de plantio para *Eucalyptus dunnii*. São Francisco de Assis-RS.

## 5 CONCLUSÕES

A precipitação interna apresenta uma relação linear crescente com a precipitação total, e decréscimo com o aumento da densidade populacional.

O escoamento pelo tronco representa uma grande contribuição de entrada de água para os espaçamentos mais adensados, com tendência de aumento conforme aumenta o número de plantas no povoamento.

A taxa de interceptação é menor em precipitações maiores e diminui com o aumento da densidade de árvores no povoamento.

A precipitação efetiva é maior em espaçamentos mais adensados, em função da maior entrada de água pelo escoamento pelo tronco, o que resulta em menor interceptação da água da chuva pelas copas das árvores.

A evapotranspiração média variou de 4,0 a 4,5mm dia<sup>-1</sup>, com valores muito próximos entre os espaçamentos de plantio e é reduzida nas épocas restrição hídrica.

Os espaçamentos avaliados apresentam a mesma magnitude de alocação de biomassa nos diferentes componentes (madeira do tronco > galho > folha). Entretanto,

O espaçamento mais amplo produziu maior biomassa total por área, porém apresentou tendência de redução na contribuição de madeira e maior biomassa aérea, e o inverso, ocorreu com o aumento da densidade populacional.

O uso eficiente da água para *Eucalyptus dunnii* de 6 anos de idade na região do Bioma Pampa no Estado do Rio Grande do Sul varia de 3,27 a 2,40 g L<sup>-1</sup>, com pouca variação entre as diferentes densidades populacionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um Cambissolo Húmico em povoamentos de *Pinus Taeda* L. com diferentes rotações.** 2011. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

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, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALMEIDA, A. Q. **Dinâmica hídrica em microbacias cultivadas com eucalipto e pastagem no leste de Minas Gerais.** 2012. 77f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2012.

ANDREASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v. 291, p. 1-27, 2004.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

ASSIS, R. L. et al. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos da região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151–156, abr./jun. 1999.

AUZANI, G. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da arenização no 1º distrito de São Francisco de Assis - RS. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BALIEIRO, L. C. **Nutrientes na água de chuva e na biomassa na monocultura e consórcio de *Acacia mangium* Willd., *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** Viçosa-MG: UFV, 1999. 99p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

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.

BAUHUS, J.; VAN DER MEER, P.; KANNINEN, M. **Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests**. Earthscan, London, UK, 2010.

BENYON, R.; DOODY, T. M. **Water use by tree plantations in south east south Australia**. Victoria, 2004, 26 p. (CSIRO Technical Report 148).

BERGER, R.; SHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BERTOLA, A. Eucalipto - 100 Anos de Brasil, 2002. Disponível em: [http://www.celsooelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto\\_100%20anos%20de%20Brasi I\\_Alexandre\\_Bertola.pdf](http://www.celsooelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasi%20I_Alexandre_Bertola.pdf). Acesso em: 25 setembro. 2014.

BINKLEY, D. et al. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, Springer-Verlag, v. 5, p. 58-67, 2002.

BLACKMAN, C. J.; BRODRIBB, T. J.; JORDAN, G. J. Leaf hydraulics and drought stress: response, recovery and survivorship in four woody temperate plant species. **Plant Cell Environ**, v. 32, p. 1584-1595, 2009.

BLAKE, G. J. The interception process. In: **Prediction in catchment hydrology**. Australian Academy of Science. p. 482.1975.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v. 55, p. 3-23, 1982.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, p. 898, 1989.

BRÉDA, N.; HUC, R.; GRANIER, A.; DREYER, E. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. **Annals of Forest Science**. v. 63, p. 625-644, 2006.

CALDATO, S. L. & SCHUMACHER, M. V. O uso de água pelas plantações florestais – uma revisão. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, jul./set. 2013.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste argentino.** 2011. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CALDER, I. D. Water use of eucalypts – a review with special reference to south India. **Agricultural Water Management.** p. 333-342, 1986.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P. G. **Growth and Water Use of Forest Plantations.** John-Wiley, Chichester. p. 38, 1992.

CAMARGO, A. P. **A água no solo para a agricultura.** O Agrônomo, Campinas, v. 57, n. 1, p. 1-2, 2005.

CARDOSO, J. A. Bracatinga. **Brasil Madeira,** Curitiba, v. 3, n. 33, p. 1-10, 1989.

CARNEIRO, R. L. C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. **Revista Árvore,** v. 32, p. 1-10, 2008.

CARNEIRO, R. L. C. **Modelagem da resistência estomática e estimativa da eficiência do uso da água em plantios jovens de eucalipto irrigados e não irrigados na região da cabia do Rio Doce.** Viçosa, MG, 68p., Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

CASTRO, P. S. et al. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa-MG. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 7, p. 76-89, 1983.

CERDÀ, A. Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain. **Geoderma,** Amsterdam, v. 69, n. 2, p. 217-232, 1996.

CORSINI, P. C. Modificações de características físico-hídricas em perfis de série Jabotical e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intensivo. **Científico,** Jaboticabal, v. 2, n. 2, p. 49-161, 1974.

COUTO, L. et al. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus "urophylla"* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 1, n. 2, p. 57-71, jul./dez.1977.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological processes**. v. 14, p. 2903-2920, 2000.

ELDRIDGE, K. et al. Eucalyptus domestication and breeding. **Oxford University Press**, New York, 288 p., 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FAO, 2013. **Global Forest Resources Assessment 2010**. In: FAO Technical Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 378pp.

FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41-63. 1997.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo, In: LIER, Q. de J. van. **Física do solo**, Viçosa: SBCS, p. 1-28. 2010.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonia**. Manaus. v. 35, n. 1, 2005.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: FSM/FATEC/CEPEF, 1992. 269p.

FRANKEN, W. et al. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 3, p. 15-22, 1982.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 1988.

GELAIN, N. S. **Monitoramento da água do solo em *Eucalyptus* spp.** 2012. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GÊNOVA, K. B.; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 189-200, 2007.

GERMER, S.; NEIL, C.; KRUCHE, A. V.; ELSENBEEER, H. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: Undisturbed forest to pasture. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 380, p. 473-480, 2010.

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 - UFV, 1994.

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

GONÇALVES, A. N.; MCNABB, K.; GONÇALVES, J. Clonal propagation of *Eucalyptus* in Brazilian nurseries. **Forest and Conservation**, New York, v. 54, p. 165-168, 2002.

GONZALEZ, R. et al. Exploring the potential of Eucalyptus for energy production in the Southern United States: Financial analysis of delivered biomass. Part I. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 755-766, 2011.

GUIMARÃES, R. F. **Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna*, para produção de lenha.** Anuário Brasileiro de Economia Florestal, v. 9, n. 9, 1957.

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

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 271-280, 2001.

HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review** v. 47, p. 603-623, 1919.

IPEF. Instituto de Pesquisas Florestais. "**Fibra**". *Jornal da Cenibra*, n. 217, nov. 2003.

JACKSON, R. B. et al. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. **Science**, v. 310, p. 1944-1947, 2005.

JAROSZ, N. et al. Carbon dioxide and energy flux partitioning between the understorey and the overstorey of a maritime pine forest during a year with reduced soil water availability. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 1508-1523, 2008.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

KIMMINS, J. P. **Forest ecology**. New York: Collier Macmillan Canada, 1987. 531 p.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos Suscetíveis à Erosão Eólica e Hídrica na Região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Ed. da UFSM. N<sup>TM</sup> 1. v. 1(jul. 19 0) p. 71-80.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A. ed. **Methods of Soil Analysis**. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, p. 635-662. 1986.

KOBIYAMA, M. **Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos**. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Apostila, Curitiba: FUPEF, p. 29-31. 1999.

KOZLOWSKI, T. T. et al. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego, Academic Press, 1991. 657 p.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, v. 25, n. 1, p. 69-78, 2001.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin, Springer-Verlag, 1980. 303 p.

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, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LEITE, F. P. et al. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 9-16, 1999.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LEVIA J R., D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 274, p. 1-29, 2003.

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

LIMA, W. P. Efeitos hidrológicos do manejo de plantações florestais. In: LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. (Org.). **As plantações florestais e a água – implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento.** São Carlos, RiMa. 2006. p. 9-28.

LIMA, W. P. Eucalipto: mitos e verdades sobre a absorção de água do lençol freático. **Revista Citricultura Atual**, São Paulo, fev. 2010. Disponível em: <[http://www.gconci.com.br/site/default.aspx?pagina=noticias\\_detalhe&codigo\\_pagina=97](http://www.gconci.com.br/site/default.aspx?pagina=noticias_detalhe&codigo_pagina=97)>. Acesso em: 17 junho de 2014.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2 ed. Piracicaba, dez. 2008. 245 p.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do Eucalipto.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

LIMA, W. P.; NICOLIERO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, volume, v. 24, n. 2, p. 43-46, ago. 1983.

LIMA, W. P.; REICHARDT, K. **Regime da água do solo sob florestas homogêneas de eucalipto e de pinheiro**. Piracicaba: CENA/USP, 1977. 31 p. (Boletim Científico, 043.31).

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

LIMA, W. D. P. et al. Comparative evapotranspiration of eucalyptus, pine and natural "cerrado" vegetation measured by the soil water balance method. **IPEF**, v. 1, p. 5-11, 1990.

LINDBERG, S. E. et al. Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest. **Science**, Washington, DC., v. 231, p. 141-145, 1986.

LITTON, C. M.; RAICH, J. W.; RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems (review article). **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 102, p. 15-27, 2004.

MAGALHAES, W. M. et al. Desempenho Silvicultural de Clones e Espécies/Procedências de Eucalyptus na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 004, p. 368-375, 2007.

MAIA, C. M. B. F.; DEDECEK, R. A.; MALUCELLI, C. S. **Identificação de repelência à água em solos sob plantios florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 147).

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

MARCOLINO, L. **Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo**. 2010. 36 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MAYORGA, E. et al. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. **Nature**, London, v. 436, p. 538-541, 2005.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicações de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006.

MESKIMEN, G.; FRANKIN, E. C. Spacing *Eucalyptus grandis* in Southern Florida. **Southern journal of applied forestry**, Washington, v. 1, n. 1, p. 3-6, 1978.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, mai./jun. 2004.

MITCHELL, P. J. et al. Drought response strategies define the relative contributions of hydraulic dysfunction and carbohydrate depletion during tree mortality. **NewPhytology**, v. 197, p. 862-872, 2013.

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

MORALES, B. P. **Atributos do solo e produtividade de Eucalyptus spp. na metade Sul do Rio Gabriel do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MOURA, A. E. S. S. et al. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 461-469, 2009.

NEAL, C. et al. M. Hydrological impacts of hardwood plantation in lowland Britain: preliminary findings on interception at a forest edge, Black Wood, Hampshire, southern England. **Journal of Hydrology**, v. 127, p. 349-365, 1991.

NETO, O. B. S. **Balanco hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente-MG**. Viçosa-MG: UFV, 2001. 101p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

NETO, S. N.; REIS, G. Produção e Distribuição de Biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em Resposta à Adubação e ao Espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral de mudas de eucalipto. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, p. 25-98, 1990.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de, DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 001, p. 9-15, 2005.

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 4, 2008.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento**. 1986.192 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

PEREIRA, A. R. et al. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. **Brasil Florestal**, n. 59, p. 27-37, 1984.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n. 2/3, p. 215-227, Jan. 2003.

PONCER, R. M. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. **Silvicultura**, São Paulo, v. 9, n. 34, p. 9-15, 1983.

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

PREVEDELLO, J. **Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo**. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PUPPALA, N. et al. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v. 21, p. 33-47, 2005.

RADOSEVICH, S. R.; OSTERYOUNG, K. Principles governing plantenvironment interactions. In: WALSTAD, J. D. e KUCH, P. J. **Forest vegetation management for conifer production**. New York, John Wiley, p. 105-156, 1987.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 486p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5. p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo protótipos e testes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, nov./dez., 2006.

RODRÍGUEZ, J. A.; CAMARGO J. C. Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. **Recursos Naturales y Ambiente**, n. 58, p. 15-31, 2009.

ROSA, S. F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina. DF: Embrapa Cerrados. 2005. 24 p.

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

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, p. 119-140. 2002.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, jul./ago. 2008.

SARI, V. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região de Santa Maria – RS**. 2011 Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SCHEER, M. B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de floresta ombrófila densa em Guaraqueçaba, Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 117-130, 2009.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348 p.

SCHUMACHER, C. G. **Biomassa e nutrientes em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa**. 2014. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL O AMBIENTE DA FLORESTA, 1, 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996, p. 65-77.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 381-391, out./dez. 2004.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, jan./mar. 2011.

SCOLFORO, J. R. S. Manejo florestal. **Universidade Federal de Lavras/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão**. Lavras, 433 p., 1997.

SHINZATO, E. T.; TONELLO, K. C.; GASPAROTO, E. A. G.; VALENTE, R. O. A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestales**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, dez. 2011.

SHUTTLEWORTH, W. J. Micrometeorology of temperate and tropical forest. **Philosophical Transactions Royal Society of London**, B. v. 234, p. 299-334, 1989.

SILVA JUNIOR, M. F. **Estudo de interceptação da precipitação incidente em uma mata de galeria, no município de Palmas, Tocantins**. 2008. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2008.

SILVA, J. C. Cresce a presença do eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 92, p. 61-66, out. 2005.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 391-399, mai./jun., 2006.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34 n. 3, p. 325-335, 2004.

SILVA, W. **Tolerância de Eucalyptus spp. a herbicidas e a eficiência desses produtos no controle de plantas daninhas**. Viçosa, UFV, 1993. 86p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.

SIMÕES, J. W. **Curso de manejo florestal**: Modulo 2. In: Curso de Especialização por Tutoria a Distância. Ministério da Educação / Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Brasília, 1988.

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. L. P.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Determinação da drenagem profunda em terra roxa estruturada. **Revista Floresta**, p. 110-116, v. 9, n. 2, 1978.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 17-31, 2004.

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.

STUDART, T. M. C. **Capítulo 7: evaporação e evapotranspiração**: hidrologia, 2003. CD-ROM. Notas de Aula.

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

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.

TRABULSI, M. C. M. **Avaliação dos parâmetros hídricos do solo em um plantio adensado de *Eucalyptus urograndis*.** 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2011.

TRIMBLE, S. W.; WEIRICH, F. H.; HOAG, B. L. Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940. **Water Resources Researche**, Washington, v. 23, p. 425-437, 1987.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS / ABRH, 2001. 943p.

TUCCI, C. E. M. Interceptação e Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3. ed., Porto Alegre: Ed. Da UFRGS/ ABRH, p. 243-252, 2002.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using refoemulated Rutter and Gash analytical models. **Journal of Hydrology**, v. 190, n. 1-2, p. 141-162, 1997.

VALLEJO, L. R. **A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais.** Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, 1982.

VALVERDE, S. R. **Aspectos sociais, econômicos e ambientais da Silvicultura no Brasil e no entorno das Unidades de Conservação (UCs).** Viçosa, SIF/DEF/UFV, 2006, 58p.

VAN DIJK, A. I. J. M.; KEENAN, R. Planted forests and water in perspective. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, p. 1-9, 2007.

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

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil.** 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Mc Graw Hill. 1975. 245 p.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. **Soil Research**, Melbourne, v. 50, n. 6, p. 465, 2012.

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

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. **Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance.** Australia, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. 1999. 42 p.

ZULUAGA, J. J. P. **Hidrologia comparativa em bacias hidrográficas com eucalipto e campo.** 2013. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

## APÊNDICE

**Apêndice A - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 1. São Francisco de Assis, RS.**

Hz	Prof. (cm)	Cor (um.)	Cor (seco)	Classe textural	Estrutura	Consistência
<b>A1</b>	0 - 15	5YR 4/4	5YR 5/6	areia franca	fraca, peq./médio, bl. ang e sub	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>A2</b>	15 – 50	5YR 4/4	5YR 4/8	areia franca	fraca, mt. peq./grande, bl. ang e sub.	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>AB</b>	50 – 92	5YR 4/4	5YR 4/8	areia franca	fraca, mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>B1</b>	92 – 160	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	fraca, mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, plástico e pegajoso
<b>B2</b>	160 +	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	mod., mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, plástico e pegajoso

peq.= pequena; bl. Ang = blocos angulares; sub. = Subangulares; lig. = ligeiramente; mod. = moderado; mt peq = muito pequena

Horizonte	Prof. (cm)	Composição granulométrica g Kg <sup>-1</sup>				Relação		pH	
		Areia grossa	Areia fina	silte	argila	silte/argila	água	KCl	
A1	0-15	298	532	84	86	0,97	4,49	3,81	
A2	15-50	400	351	101	148	0,68	4,80	3,61	
AB	50-92	262	473	99	166	0,61	4,53	3,71	
B1	92-160	171	393	81	355	0,23	4,49	3,63	
B2	160+	182	365	84	368	0,23	4,66	3,61	

Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>					CTC <sub>ef</sub>	CTC pH7,0	V%	Al%
Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup> +Na	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	S				
2,40	0,66	1,63	0,14	3,06	3,20	4,69	65	4
2,39	0,66	3,39	0,53	3,06	3,59	6,45	47	15
3,28	0,46	1,75	0,20	3,74	3,95	5,49	68	5
3,65	0,51	1,98	0,40	4,16	4,56	6,14	68	9
3,91	0,22	2,22	0,80	4,13	4,93	6,35	65	16

**Apêndice B - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 2. São Francisco de Assis, RS.**

<b>Hz</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor (um.)</b>	<b>Cor (seco)</b>	<b>Classe textural</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>A1</b>	0 – 16	5YR 4/4	5YR 5/6	areia franca	fraca, peq/médio, bl. ang.e sub.	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>A2</b>	16 – 42	5YR 4/4	5YR 4/8	areia franca	fraca, mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>AB</b>	42 –105	5YR 4/4	5YR 4/8	areia franca	fraca, mt peq/grande, bl. ang. e sub.	friável, lig. plástico e lig. pegajoso
<b>BA</b>	105 – 142	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	fraca, mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, plástico e pegajoso
<b>B1</b>	142 +	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	mod., mt peq/grande, bl. ang e sub.	friável, plástico e pegajoso

peq.= pequena; bl. Ang = blocos angulares; sub. = Subangulares; lig. = ligeiramente; mod. = moderado; mt peq = muito pequena

**Apêndice C - Descrição morfológica e da composição granulométrica e química do perfil 3. São Francisco de Assis, RS.**

Hz	Prof. (cm)	Cor (um.)	Cor (seco)	Classe textural	Estrutura	Consistência
A1	0 – 20	5YR 4/4	5YR 6/6	areia franca	fraca/mod., peq/médio, bl. ang.e sub.	friável, não plástico e não pegajoso
A2	20 – 51	5YR 4/4	5YR 5/6	areia franca	fraca, mt peq/grande, bl. ang.e sub.	mt friável, não plástico e lig. pegajoso
AB	51 – 111	5YR 4/4	5YR 5/8	areia franca	fraca, mt peq/grande, bl. ang.e sub.	friável, não plástico e lig. pegajoso
B1	111 – 142	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	mod., mt peq/grande, bl. ang.e sub.	friável, plástico e pegajoso
B2	142 – 205	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	mod., mt peq./grande, bl. ang.e sub.	friável, plástico e mt pegajoso
BC	205 +	2,5YR 4/6	2,5 YR 4/8	argilo-arenosa	mod./forte, grande/mt grande, bl. ang.e sub.	friável a muito friável, lig. plástico e pegajoso

peq.= pequena; bl. Ang = blocos angulares; sub. = Subangulares; lig. = ligeiramente; mod. = moderado; mt peq = muito pequena.

Horizonte	Prof. (cm)	Composição granulométrica g Kg <sup>-1</sup>				Relação	pH	
		Areia grossa	Areia fina	silte	argila	silte/argila	água	KCl
A1	0-20	298	532	8,4	8,6	0,97	4,66	3,83
A2	20-51	400	351	10,1	14,8	0,68	4,84	3,74
AB	51-111	262	473	9,9	16,6	0,61	4,86	3,77
B1	111-142	171	393	8,1	35,5	0,23	4,75	3,54
B2	142-205	182	365	8,4	36,8	0,23	4,73	3,61
BC	205+	203	378	8,9	33,0	0,27	4,94	3,78

Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>					CTC <sub>ef</sub>	CTC pH7,0	V%	Al%
Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup> +Na	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	S				
1,84	0,55	1,51	0,14	2,39	2,53	3,90	61	5
1,96	0,67	1,75	0,47	2,63	3,10	4,38	60	15
2,23	0,39	1,28	0,97	2,62	3,59	3,90	67	27
3,18	0,84	3,39	0,77	4,02	4,79	7,41	54	16
3,00	0,25	3,39	1,86	3,25	5,11	6,64	49	36
2,59	0,18	2,57	1,20	2,77	3,97	5,34	52	30

## Apêndice D - Perfis de solo avaliados. São Francisco de Assis, RS.

