

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

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO  
ARENOSO SOB O CULTIVO DE *Eucalyptus* spp.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Suzana Ferreira da Rosa**

**Santa Maria, 2010**

# **PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO ARENOSO SOB O CULTIVO DE Eucalyptus spp.**

**por**

**Suzana Ferreira da Rosa**

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: Dalvan José Reinert**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2010**

R788p

Rosa, Suzana Ferreira da, 1984-

Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus spp.* / Suzana Ferreira da Rosa. - 2010. 92 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

“Orientador: Prof. Dalvan José Reinert”

1. Engenharia florestal 2. Eucalyptus 3. Qualidade do solo 4. Plantio 5. Espaçamento de plantio I. Reinert, Dalvan José II. Título

CDU: 630\*235

Ficha catalográfica elaborada por  
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**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

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO ARENOSO  
SOB O CULTIVO DE *Eucalyptus* spp.**

elaborada por  
**Suzana Ferreira da Rosa**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA**

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

**Nirlene Fernandes Cechin, Dra**

**Edison Rogério Perrando, Dr**

**Santa Maria, 23 de fevereiro de 2010**

## **AGRADECIMENTOS**

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

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

Ao professor Dalvan pela orientação, confiança e ensinamentos.

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

À StoraEnso pela disponibilização da área, das mudas e dos materiais necessários no experimento. Ao grupo Plantar, especialmente ao Marcelo, por toda a ajuda prestada durante a execução dos trabalhos à campo.

Ao professor Elesbão pelo empréstimo da área para a realização do estudo e pela ajuda prestada.

Ao Flávio Fontinelle pela ajuda na realização do trabalho.

Aos membros da comissão examinadora pelas contribuições ao trabalho.

Aos colegas e amigos do grupo da Física do Solo, especialmente àqueles que auxiliaram na execução do trabalho: Alan, André, Alencar, Charlote, Claudia, Fabiano, Leandro, Luciano, Mauricio, Mayra, Miriam, Neiva, Paulo, Simone, Tiago.

Ao pessoal da química do solo, especialmente ao Cledimar pela ajuda durante a realização das análises no laboratório.

Aos meus pais Vilsiomar e Oneida pelo apoio e incentivo e aos meus irmãos Neimar e Denise.

Ao Marcos pelo incentivo, apoio, força, compreensão e auxílio.

Às minhas amigas Ana Claudia, Juliana e Tati pela força e companheirismo.

À Deus por guiar meus passos.

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

## RESUMO

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

### PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO ARENOSO SOB O CULTIVO DE *Eucalyptus* spp.

AUTORA: SUZANA FERREIRA DA ROSA

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 23 FEVEREIRO DE 2010.

O estudo desenvolveu-se com o objetivo de avaliar as alterações ocorridas nas propriedades físicas e químicas de um solo arenoso e o desenvolvimento das plantas após a implantação de povoamentos de eucalipto em diferentes densidades populacionais. O trabalho foi realizado a partir da instalação de um experimento implantado com *Eucalyptus dunnii* Maiden em campo nativo, nos espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75; 1,75X1,75 e 1,75X0,87 metros, em um argissolo vermelho distrófico (Área 1). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Nos primeiros 12 meses de idade do povoamento os resultados não permitiriam conclusões sobre o efeito do eucalipto nas propriedades do solo. Assim, foi avaliada, concomitantemente, uma área com eucalipto implantado nos espaçamentos iniciais de 2X1 e 3X2 m, com 15 e 20 anos de idade, respectivamente, e comparadas com campo nativo (Área 2). Na área 1 foram coletadas, em cada unidade experimental, amostras de solo nas profundidades 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00 e 1,00-1,50 m antes da implantação e após 12 meses de instalação do experimento. Na área 2 foi realizada a coleta de solo com quatro repetições por tratamento, nas mesmas profundidades utilizadas na área 1. As propriedades físicas do solo avaliadas foram granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água e a seco. As propriedades químicas determinadas foram: pH, pH<sub>SMP</sub>, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio trocáveis, nitrogênio e carbono orgânico total, e matéria orgânica. Na área 1 foram realizadas avaliações de diâmetro a 0,10 m e altura das plantas aos três, seis, nove e doze meses de idade, sendo que aos doze meses também foi medido o DAP das plantas e calculado a área basal individual e área basal por hectare. Na área 1, aos doze meses somente ocorreram alterações na macro e microporosidade e na agregação devido às práticas de preparo do solo e do manejo do povoamento no período inicial. Na área 2, o eucalipto, bem como o espaçamento de plantio, não alteraram as propriedades físicas do solo, exceto a agregação, que foi menor no campo nativo. Para as propriedades químicas do solo, na área 1 houve aumento no pH e nos níveis de Ca e Mg no solo após 12 meses. Na área 2, observou-se maiores níveis de Al e menores valores de pH no solo sob o eucalipto. Os níveis de Ca, Mg, P e K foram mais elevados no campo nativo, o teor de matéria orgânica e carbono foram maiores no eucalipto 3X2 m, na terceira e quarta camadas. Em relação ao desenvolvimento inicial, o espaçamento de plantio do *Eucalyptus dunnii* afetou o diâmetro e a área basal por hectare aos 12 meses de idade, onde se observou um maior crescimento em diâmetro (0,10 m) nos espaçamentos mais amplos. Entretanto, a área basal por hectare foi maior nos espaçamentos menores.

**Palavras-chave:** Eucalyptus, qualidade do solo, espaçamento de plantio.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

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

### **PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SANDY SOIL UNDER CULTIVATION OF *Eucalyptus* spp.**

AUTHOR: SUZANA FERREIRA DA ROSA

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

DATE AND PLACE OF THE DEFENSE: SANTA MARIA, FEBRUARY 23, 2010

The study was carried out to evaluate the changes in the physical and chemical properties of a sandy soil after afforestation of an Eucalyptus forest planted in different spacing resulting in several plant population. The initial plant growth was also monitored. It was accomplished an experiment planted with *Eucalyptus dunnii* Maiden planted on Alfisol (Red Yellow Podzolic) with native grass. The plant spacing used were: 3,50X3,50; 3,50X1,75; 1,75X1,75 e 1,75X0,87 m. The experimental design was a complete randomized block with four replicates. In the initial twelve months was not observed differences in results of soil properties due Eucalyptus exploration. To explore what may occur in this experiment by end of first or second forest plant cycle it was evaluated three areas, in sites side by side. Site 1 – Eucalyptus planted 2x1m with 15 years; Site 2 – Eucalyptus planted 3x2m with 20 years; Site 3 – natural grass. In the experiment, soil samples were taken before the Eucalyptus planting and after twelve months, and layers of 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00 e 1,00-1,50 m. In the area 2 (sites 1 to 3) soil samples were taken in four replicates at same soil layers as the experiment area. The soil physical properties measured were: particle size distribution, bulk and particle density, total, macro and microporosity and wet and dry aggregate size distribution. The soil chemical measured were: water pH SMP, Al<sup>+++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, available P, N, C and organic matter. In the experiment was measured the diameter 0,10 m and height of plants at three, six, nine and twelve months of age, at twelve months was measured also the DAP and calculated the basal area for plant and basal area for hectare. In the experiment, measuring at twelve months after installation the soil changes were only for macro and microporosity and for aggregation, mainly due to soil tillage and management involved in installation of forest. In the area 2, the Eucalyptus, as well as the planting spacing adopted did not caused soil physical alteration, except for aggregation, which was smaller at native grass field. The changes in soil chemical properties, in the experiment, area resulted in higher pH, Ca and Mg after twelve months. In the area 2 there were higher levels of Al and smaller pH for Eucalyptus forest, whereas the levels of Ca, Mg, P and K were higher in the natural grass. There were higher Ca, P and K in the site 2, 3x2m spacing, where the organic C were higher at layer 0,2 to 0,6m. The plant spacing for the initial twelve months did not affect plant height and canopy radii, however, did affect plant diameter, basal area for hectare at twelve months age. The higher plant diameter were observed for higher plant spacing whereas, the basal area per hectare were higher for narrower plant spacing.

**Key-words:** Eucalyptus, soil quality, plant spacing.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Vegetação potencial do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Quadros e Pillar (1990).....	26
FIGURA 2 – Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	28
FIGURA 3 – Localização dos povoamentos de eucalipto (E1 e E2) e do campo nativo (CN) na área experimental (Área 2), Manoel Viana, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Google Earth, 2010.....	29
FIGURA 4 – Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	39
FIGURA 5 – Porcentagem dos agregados estáveis em água nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	44
FIGURA 6 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	45
FIGURA 7 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	47
FIGURA 8 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis a seco nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	48
FIGURA 8 – Desenvolvimento inicial de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade nos diferentes espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	54
FIGURA 9 – Porcentagem de sobrevivência de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	55
FIGURA 10 – Porcentagem de sobrevivência de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	57



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Características dos tratamentos usados no experimento.....	27
TABELA 2 - Caracterização granulométrica das camadas do Argissolo Vermelho distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	36
TABELA 3 – Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após um ano da implantação em São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	37
TABELA 4 – Densidade de partículas ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) das camadas de Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	38
TABELA 5 – Porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes e após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	41
TABELA 6 – Porcentagem dos agregados estáveis em água e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	42
TABELA 7 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	46
TABELA 8 – Propriedades químicas do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50m (E1), 3,50X1,75m (E2), 1,75X1,75m (E3) e 1,75X0,87m (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes (AP) e após um ano de implantação (DP), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	50
TABELA 9 – Porcentagem de carbono orgânico total (C), nitrogênio (N) e matéria orgânica (M.O.) nos espaçamentos 3,50X3,50m (E1), 3,50X1,75m (E2), 1,75X1,75m (E3) e 1,75X0,87m (E4) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden antes (AP) e após um ano de implantação (DP), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	53
TABELA 10 – Diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H), área basal por hectare (G) e volume por hectare (V) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos 12 meses nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	58
TABELA 11 – Raio de copa nos quatro pontos cardeais e área de projeção da copa de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden aos nove e 12 meses nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	59
TABELA 12 - Caracterização granulométrica das camadas de Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.....	60
TABELA 13– Densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) das camadas do Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.....	61

TABELA 14 – Densidade de partículas ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) das camadas do Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.....	62
TABELA 15 – Porosidade Total, Microporosidade e Macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. e campo nativo, Manoel Viana, RS, Brasil.....	63
TABELA 16 – Porcentagem dos agregados estáveis em água e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	65
TABELA 17 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	66
TABELA 18 – Propriedades químicas em Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	68
TABELA 19 – Matéria orgânica nas camadas 1 (0,00-0,10m), 2 (0,10-0,20m), 3 (0,20-0,40m), 4 (0,40-0,60m), 5 (0,60-1,00m) e 6 (1,0-1,50m) em Argissolo Vermelho distrófico em <i>Eucalyptus</i> spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 HISTÓRICO DOS PLANTIOS DE <i>EUCALYPTUS</i> NO BRASIL.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 EFEITO DOS PLANTIOS FLORESTAIS NAS PROPRIEDADES DO SOLO ....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 ESPAÇAMENTO DE PLANTIO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO .....</b>	<b>22</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
3.1.1 Localização .....	25
3.1.2 Clima .....	25
3.1.3 Solo .....	26
3.1.4 Vegetação natural .....	26
<b>3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 COLETA E ANÁLISE DO SOLO .....</b>	<b>29</b>
3.3.1 Análise física do solo.....	30
3.3.2 Análise química do solo.....	33
<b>3.4 DESENVOLVIMENTO INICIAL DE <i>EUCALYPTUS DUNNII</i> MAIDEN.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 ÁREA 1 .....</b>	<b>36</b>
4.1.1 Propriedades físicas do solo .....	36
4.1.2 Propriedades químicas do solo .....	49

4.1.3 Desenvolvimento inicial de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden .....	54
<b>4.2 ÁREA 2 .....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Propriedades físicas do solo .....	59
4.2.2 Propriedades químicas do solo .....	66
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>73</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>84</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal vem ganhando destaque no cenário da economia brasileira, principalmente com o cultivo do eucalipto, que constitui uma espécie bastante versátil e com emprego em vários ramos, fundamentalmente na indústria de celulose e papel, indústria moveleira, para combustível, moirões, postes, entre outros.

A área total com florestas no Brasil é de 851,4 milhões de hectares, sendo que desse total, 477,7 milhões de ha correspondem a florestas naturais e 5,98 milhões de ha a florestas plantadas, das quais, 3,75 milhões de ha são plantadas com eucalipto (SBS, 2008). No Rio Grande do Sul, a área plantada subiu de 35.000 ha em 2005 para 45.000 ha em 2007 (SBS, 2008). Devido a este cenário de crescimento e expansão da atividade, se fazem necessários estudos relacionados à qualidade do solo em áreas implantadas com eucalipto para verificar os efeitos dos plantios florestais homogêneos, bem como do espaçamento de plantio no solo.

Desde os primórdios da atividade silvicultural no Brasil, há questionamentos a respeito dos efeitos dos plantios florestais nas propriedades do solo, pois os povoamentos florestais homogêneos podem proporcionar algumas alterações no solo, como as decorrentes da relação com a matéria orgânica da serapilheira depositada. Essa relação é dependente da espécie e da densidade do povoamento (TONINI, 2003).

Segundo Martins et al. (2002), apesar da expansão de florestas homogêneas de pinus e eucalipto ocorrerem em larga escala no Brasil e ocupar extensas áreas, há poucos estudos à respeito dos impactos desses povoamentos no solo. Além disso, de acordo com os autores, diferentes coberturas vegetais proporcionam distintos comportamentos em relação aos atributos físicos e químicos do solo.

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e do aumento da erosão hídrica. Algumas práticas culturais e de manejo provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente em suas características estruturais. Tais alterações podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas. Desta forma, o solo submetido ao cultivo tende a perder a sua estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade

(TISDALL; OADES, 1982; BERTOL, 2001). Porém, em solos florestais, a adição de material orgânico tem se mostrado como uma técnica capaz de melhorar a agregação, a capacidade de armazenamento de água, a condutividade hidráulica, a densidade, o grau de compactação e a resistência à erosão hidráulica e eólica (LEROY et al., 2008).

Quanto às propriedades químicas, o movimento de nutrientes nos povoamentos florestais ocorre por meio da absorção pelas plantas e o seu retorno pela liberação dos nutrientes através da decomposição do material vegetal depositado sobre o solo (VEZZANI; TEDESCO; BARROS, 2001).

A densidade de um povoamento florestal pode promover alterações nas propriedades físicas e químicas no solo. As características físicas são modificadas de acordo com o sistema radicular da espécie, além do tipo e quantidade da manta depositada, enquanto que as químicas são afetadas de acordo com a dinâmica dos nutrientes no solo, devido à absorção pelas plantas, e pela matéria orgânica.

No Brasil, desde os primeiros plantios florestais, têm se destinado à atividade silvicultural os solos menos férteis e geralmente de grande susceptibilidade à erosão. Para tal situação, podem ser colocadas como razões o menor valor econômico de aquisição desses solos, aliado à suposições técnicas de que as essências florestais possuem pequenas exigências nutricionais, bem inferiores as das culturas agrícolas, apresentando bom desenvolvimento em solos pouco férteis (GONÇALVES, 1988).

Nos últimos anos, diversos estudos têm sido realizados para comparar os efeitos das práticas de manejo do solo e dos cultivos sobre a produção (GAVANDE, 1976). No entanto, o impacto dos plantios florestais com espécies de rápido crescimento sobre o solo depende do local onde os plantios estão inseridos, devendo ser realizados estudos detalhados em todas as áreas onde existem ou deseja-se instalar grandes empreendimentos florestais, pois o rápido crescimento das plantações florestais pode levar a imediatas mudanças nas características do solo (BINKLEY; RESH, 1999).

Os questionamentos a respeito dos efeitos dos povoamentos florestais homogêneos de eucalipto nas propriedades do solo e do grau de limitação oferecido pelos solos arenosos na região sudoeste do Rio Grande do Sul foram os fatores que nortearam a realização do presente estudo. Dessa forma, os objetivos do estudo foram verificar as alterações físicas e químicas ocorridas em um argissolo vermelho

distrófico com o plantio de eucalipto em diferentes densidades populacionais e verificar o efeito do espaçamento entre plantas no crescimento inicial do eucalipto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Histórico dos plantios de *Eucalyptus* no Brasil

Os primeiros eucaliptos no Brasil foram plantados no Rio Grande do Sul em 1868 por Frederico de Albuquerque. No mesmo ano foram plantados alguns exemplares por Pereira da Cunha, em Quinta da Boa Vista no Rio de Janeiro (SAMPAIO, 1975). Porém, esses plantios ocorreram com a função de ornamentação, quebra-ventos ou pelas propriedades sanitárias da maioria das espécies.

Comercialmente, a introdução do eucalipto no Brasil ocorreu para suprir a demanda de lenha pelas locomotivas e para servir de dormentes dos trilhos das ferrovias da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (HASSE, 2006). A partir daí, os plantios do gênero *Eucalyptus* se estenderam para todo o centro e sul do país, intensificando a produção a partir de 1960, com a política de incentivo fiscal ao reflorestamento, especialmente para as grandes indústrias siderúrgicas e de papel e celulose (HASSE, 2006).

Os primeiros estudos sobre o gênero *Eucalyptus* no Brasil foram realizados por Navaro de Andrade, o grande precursor, o qual iniciou estudos relacionados à seleção de espécies e espaçamento de plantio (SAMPAIO, 1975). Esses estudos foram fundamentais para a expansão da atividade silvicultural com o eucalipto no Brasil. De acordo com Reis [19--], as experiências feitas por Navarro de Andrade com a colaboração dos técnicos do laboratório de produtos florestais de Maidson (EUA) foram primordiais para o aproveitamento do eucalipto como pasta de celulose para papel.

Os estudos de seleção de espécies e materiais genéticos foram responsáveis pela expansão da atividade florestal, não somente na indústria de celulose e papel. O aumento da demanda de madeira como matéria-prima para a fabricação de chapas de madeira e outros, e as rápidas mudanças tecnológicas resultaram em um aumento adicional do reflorestamento com eucalipto, colocando-o na posição do gênero mais plantado no mundo (VALE, 2004). Esse aumento da demanda de madeira proporcionou possibilidades de utilização do eucalipto para a obtenção de madeira para serraria, lenha e produção de dormentes (PRYOR 1976).



## 2.2 Efeito dos plantios florestais nas propriedades do solo

Desde as primeiras plantações no Brasil, o gênero *Eucalyptus* tem sido alvo de questionamentos e estudos a respeito do seu efeito no ambiente natural, principalmente em relação às características do solo. De acordo com Lima (1996), as principais preocupações nesses estudos referem-se às possíveis alterações proporcionadas ao solo pela decomposição da serapilheira e pelo consumo de água pelos povoamentos florestais homogêneos formados com o gênero.

As propriedades do solo sofrem algumas modificações de acordo com o seu uso e manejo, modificações estas, que podem ser benéficas ou não. As propriedades físicas são as que mais se alteram de acordo com uso do solo (CONCEIÇÃO, 2005). Tais modificações se refletem, principalmente, na estrutura. O solo é um sistema dinâmico e, dependendo das formas de uso e manejo adotadas, suas características podem ser bastante alteradas (ANDRADE, 1997). A cobertura florestal sobre um solo pode causar mudanças nas suas propriedades, especialmente pelo grau de proteção oferecido contra a erosão, pela capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida, que é gradualmente incorporada, aumentando o estoque de carbono orgânico (BRUN, 2008).

Os sistemas florestais podem proporcionar benefícios às propriedades físicas do solo devido ao maior aporte de matéria orgânica. Desta forma, as utilizações de práticas de manejo que beneficiam o aumento da matéria orgânica são de extrema importância, pois, além de serem capazes de fixar o carbono, propiciam melhorias nas propriedades físicas. Além disso, a utilização de sistemas que revolvem o solo estimula a atividade microbiológica, fazendo com que ocorra um aumento na mineralização da matéria orgânica, e, com isso, aconteça um aumento da taxa de respiração, devolvendo CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

De acordo com Lima (1996), as plantações de eucalipto melhoram as condições físicas do solo em relação à matéria orgânica e à atividade microbiológica, resultando em melhoria simultânea da estrutura, aeração, capacidade de armazenamento e infiltração da água. Segundo o autor, o eucalipto também apresenta benefícios em relação às propriedades químicas do solo.

Muitas espécies de *Eucalyptus* crescem naturalmente em solos com estado nutricional baixo. Porém possuem a capacidade de responder com aumento das taxas de crescimento em condições mais férteis e, especialmente, para níveis mais altos de nitrogênio e fósforo (TURNBULL; PRYOR, 1984). Segundo os autores, a maior importância do solo com relação à produtividade do *Eucalyptus* está relacionada à profundidade do solo, pois poucas espécies produzem bem em solos muito rasos.

### **2.3 Espaçamento de plantio**

O espaçamento entre plantas em um sítio florestal deve ser determinado em função do grau de limitação da área, como disponibilidade de água e de nutrientes no solo. Além disso, a escolha do espaçamento também deve considerar a espécie, 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).

O crescimento observado de uma árvore individual ou dos povoamentos florestais é resultante de processos fisiológicos, que são condicionados por um complexo de fatores biológicos e ambientais. Segundo Gonçalves; Demattê; Couto (1990) os principais determinantes biológicos da produtividade florestal são a variabilidade genética, a densidade do povoamento, a competição entre plantas e a intensidade de doenças e pragas, enquanto os determinantes ambientais se referem ao clima e ao solo. De acordo com os autores, quando os fatores climáticos se mantêm constantes, as propriedades do solo constituem o principal fator do ambiente físico, que tem uma relação considerável com o crescimento das árvores.

Segundo 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.

O espaçamento tem uma série de implicações silviculturais em povoamentos florestais, pois pode afetar as taxas de crescimento das plantas e, ainda, a qualidade da madeira, a idade de corte e, com isso, modificar os custos de produção (BALLONI; SIMÕES, 1980). Segundo os autores, o espaçamento tem maior influência sobre o desenvolvimento do DAP que sobre a altura das árvores, pois a

diminuição do espaçamento tende a aumentar o número de árvores dominadas, para a maioria das espécies, e estas por sua vez contribuem efetivamente para a diminuição da altura média do povoamento.

Para Pinkard; Neilsen (2003), a maioria dos estudos sobre espaçamentos têm concluído que a produção total de madeira aumenta com o aumento da densidade. Porém, os espaçamentos mais amplos permitem o consórcio com espécies agrícolas e/ou pastagem em sistemas agrossilvipastoris sequenciais. O consórcio com cultivos agrícolas nos anos iniciais, seguido da formação de pastagens para engorda de gado de corte, apresenta-se como uma alternativa potencial para amortizar os custos de implantação e de manutenção inicial da floresta (KRUSCHEWSKY et al., 2007). Para a região do cerrado, que apresenta solos com baixa fertilidade e restrições hídricas, os espaçamentos para reflorestamento deverão ser mais amplos (SILVA, 1984 *apud* GOMES, 1994).

Além de considerar os fatores ambientais, na escolha do espaçamento, é importante levar em conta as condições do mercado, os tratos silviculturais, os tipos de equipamentos disponíveis, os métodos de colheita da madeira (BOTELHO, 1997).

O manejo da água do solo também se constitui em um fator importante regulado pela densidade da floresta. Orr (1968) *apud* Lima (1996) verificou que o solo de um povoamento desbastado de pinheiro apresentava maior quantidade de água armazenada do que antes do desbaste. Além disso, considerando o caráter intensivo na utilização do solo com espaçamentos menores, esses sistemas tendem a apresentar a desvantagem de proporcionar a exaustão dos solos, por meio da exportação de nutrientes (MÜLLER; COUTO; NEVES, 2005).

As diferentes densidades populacionais dos povoamentos florestais podem levar a diferentes quantidades de nutrientes removidos do solo, pois, quanto menor a densidade, mais intensa será a atividade do sistema radicular em maiores profundidades, aumentando a quantidade de nutrientes disponíveis por planta (LEITE et al., 1998). Desta forma, as menores densidades populacionais podem levar a uma redução de crescimento já em povoamentos jovens, pois ocorre uma maior exaustão de nutrientes do solo e um menor acúmulo de nutrientes por planta.

## 2.4 Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas relacionadas à qualidade do solo referem-se às condições, que permitem a infiltração, a retenção e a disponibilização de água para as plantas, proporcionando as trocas de calor e de gases com a atmosfera e as raízes das plantas e possibilitando o crescimento das raízes (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Um solo com qualidade física deve apresentar estabilidade, ou seja, as partículas de argila devem estar floculadas e ter uma adequada distribuição do tamanho de poros e elevada porosidade total, tornando o solo capaz de absorver, armazenar e liberar água para as plantas (GATE, 2006 apud SUZUKI, 2008).

As propriedades físicas do solo são as que merecem maior importância, pois influenciam a produtividade, através do desenvolvimento das plantas. Muitas dessas propriedades físicas têm sido utilizadas para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo ou até mesmo como indicadores da sua qualidade (NEVES et al., 2007).

Propriedades do solo como a densidade, a porosidade, taxa de infiltração de água e a resistência à penetração têm sido largamente utilizadas na avaliação do estado de compactação do solo em áreas agrícolas (FLORES et al., 2007). Além disso, as propriedades físicas do solo podem ser alteradas, de acordo com o sistema de manejo empregado. No caso da silvicultura, podem proporcionar modificações em algumas características, como a umidade do solo, a aeração e a temperatura (PRITCHETT; FISHER, 1987).

A textura do solo está relacionada com a proporção de tamanho das partículas minerais do solo. A textura constitui-se no fator mais importante do solo, pois esta característica não pode ser modificada e determina o valor econômico (GAVANDE, 1976).

A textura do solo é estudada pela análise granulométrica, a qual permite classificar os componentes sólidos do solo em classes de acordo com os seus diâmetros, sendo divididos em areia, silte e argila (KIEHL, 1979).

Em estudo realizado por Gerhardt (1999), visando avaliar a influência dos fatores físicos do solo sobre o crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* em Cambissolo Húmico no município de Canela (RS), observou-se correlações negativas entre o teor de argila e a altura dominante das plantas, nas profundidades

de 0-10 cm e de 10-20 cm. Enquanto que para a relação areia fina e areia grossa, a 10 cm de profundidade, as correlações foram positivas.

Rigato et al. (2005), estudando a influência dos atributos físicos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade em Telêmaco Borba (PR), verificou que os sítios de textura argilosa apresentaram maiores valores de porosidade total, enquanto que em solos com textura mais arenosa, a porosidade total foi menor. Além disso, os autores também verificaram uma maior produtividade no sítio localizado sobre um Cambissolo de textura argilosa.

Uma das propriedades mais importantes para avaliar a qualidade do solo é a estrutura, que avalia o arranjo entre sólidos e vazios. A estrutura consiste no arranjo das partículas unitárias de areia, silte e argila em partículas compostas ou grumos, os quais apresentam características específicas (JORGE, 1985).

A estrutura do solo pode influenciar o crescimento das árvores por meio da capacidade de infiltração da água, aeração do solo e pela predisposição à penetração das raízes (WILDE, 1958). Ou seja, a estrutura do solo não afeta diretamente o crescimento e produção das plantas, e sim a maioria dos fatores essenciais de crescimento, podendo ser um fator limitante da produção em determinados casos (GAVANDE, 1976).

Avaliações quantitativas da estrutura podem ser feitas por determinações indiretas (quantidade de agregados estáveis em água ou a seco ou pela resistência dos agregados ao impacto das gotas de chuva simulada), ou diretas pela densidade do solo, porosidade, índices de floculação e infiltração de água no solo (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006). Outras avaliações da estrutura podem ser realizadas por meio da densidade, macro e microporosidade, da resistência à penetração, permeabilidade, entre outros. Estas propriedades podem ser utilizadas como indicadores de adensamento, da compactação e do encrostamento (MARTINS et al., 2002).

A porosidade do solo é dividida em duas classes: macroporos e microporos (BRADY, 1989). Segundo o autor, os microporos são conhecidos como os poros capilares responsáveis pela retenção da água no solo. No entanto, os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo.

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação de raízes. Com isso, conseqüentemente,

interferem no aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas (RIBEIRO et al., 2007).

A Densidade do solo é uma propriedade que avalia a massa de sólidos pelo volume e é afetada pelos cultivos que alteram a estrutura do solo. Dessa forma, descrevendo o estado da estrutura do solo (KLEIN, 2008).

Suzuki (2008) encontrou um aumento da densidade do solo com a profundidade no perfil até 1 m, avaliando florestas de eucalipto com 4,5 e 20 anos de idade e pastagem em um Argissolo Vermelho distrófico no município de Butiá, Rio Grande do Sul. O autor observou valores de densidade de 1,04 a 1,39  $\text{Mg m}^{-3}$  a 0,0-0,05 m e 0,40-0,60 m na floresta com 20 anos e de 1,55 a 1,35  $\text{Mg m}^{-3}$  para a floresta de 4,5 anos a 0,0-0,05 e 0,60-1 m de profundidade, respectivamente, e para a pastagem de 1,46 a 1,33  $\text{Mg m}^{-3}$  para as camadas de 0,0-0,05 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Ainda segundo o autor, essas diferenças de densidade podem estar associadas com a diferença textural entre as profundidades e entre as áreas avaliadas.

Silva et al. (2009) verificaram aumentos na densidade e na microporosidade e redução da macroporosidade na camada superficial do solo nos plantios de eucalipto e pinus, em relação à vegetação nativa. Essa diferença entre as propriedades do solo pode ser atribuída ao manejo utilizado nos povoamentos de eucalipto e pinus, devido à passagem das máquinas nas atividades de manutenção que proporcionaram certa compactação ao solo, enquanto que a vegetação nativa não sofreu nenhum tipo de intervenção. Além disso, aumentos na densidade do solo em superfície, nos sistemas florestais, podem estar relacionados ao tempo de utilização da área, a arquitetura do sistema radicular, a pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas e as condições de umidade do solo no preparo e plantio das mudas (COSTA et al., 2003).

Aumentos na densidade do solo não são necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, porque até certos limites este aumento pode contribuir com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga (REICHERT et al., 2009).

Outra propriedade física do solo, diretamente relacionada ao sistema de manejo empregado e ao uso, é a agregação do solo, propriedade correlacionada com a matéria orgânica e com o carbono e que tem sido bastante utilizada em avaliações dos sistemas de manejo.

Segundo Lima (1996), os plantios florestais com eucalipto são responsáveis por melhorias nas condições do solo, principalmente no que se refere à matéria orgânica e a atividade microbiológica, o que, conseqüentemente, beneficia as suas propriedades físicas. Segundo o autor, os plantios com eucalipto promovem uma maior macro-agregação do solo em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais.

Em relação à agregação do solo, é interessante avaliar a distribuição do tamanho, da quantidade e da estabilidade dos agregados do solo (BAVER; GARDNER, 1972). Salton et al. (2008), estudando a agregação e a estabilidade dos agregados em diferentes sistemas de manejo, verificaram que os sistemas de manejo, ao influenciarem a intensidade dos fluxos e a dinâmica de matéria e energia para o sistema solo, resultaram em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados. Os autores observaram que os sistemas com presença de pastagem apresentaram, significativamente, maior quantidade de solo na camada de 0 a 5 cm, constituindo agregados grandes (classe > 4,76 mm), em relação aos sistemas agrícolas, indicando a existência de efeito do sistema radicular da pastagem permanente no processo de formação dos macro-agregados do solo.

Segundo Gavande (1976) o tamanho dos agregados também exerce influência sobre o crescimento vegetal. Os agregados médios são mais favoráveis ao crescimento das plantas que os agregados demasiadamente grandes ou muito pequenos, sendo um critério valioso para avaliar a estrutura de um solo, ainda que a estabilidade da estrutura se refira à resistência que os agregados do solo apresentam.

Outro atributo físico que pode ser avaliado é a densidade de partículas, característica intrínseca do solo, dependente dos constituintes da fração sólida do solo e determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades. Pelo fato da densidade da matéria orgânica variar de 1,0 a 1,3 Mg m<sup>-3</sup>, e a densidade da parte mineral variar de 2,50 a 5,20 Mg m<sup>-3</sup> (FERREIRA; DIAS JÚNIOR, 1996), valores próximos a estes podem indicar dominância de partículas orgânicas ou minerais em sua fase sólida (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006).

## 2.5 Propriedades químicas do solo

A intensificação do manejo florestal e o aumento dos plantios florestais, principalmente de espécies exóticas, têm servido para focalizar a importância das propriedades químicas do solo no crescimento das árvores (PRITCHETT; FISHER, 1987).

A acidez do solo varia amplamente de acordo com a espécie e possui grande importância na determinação do tipo e na qualidade do sítio florestal (PRITCHETT; FISHER, 1987). De acordo com os autores, a modificação da acidez do solo está relacionada com a diferença inerente ao conteúdo de bases na serapilheira. Por exemplo, solos sob coníferas tendem a ser mais ácidos que sob folhosas devido ao menor conteúdo de bases nas folhas e na serapilheira destas espécies.

O pH do solo, propriedade correlacionada com a acidez, é um importante indicador de suas condições químicas, pois possui capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações (BRANDÃO; LIMA, 2002).

Freitas (2000) observou pH baixo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* com nove anos de idade no município de Alegrete (RS), na ordem de 4,9 para camada de solo de 0-10 cm de profundidade; 4,6 para 10-20 cm e 4,5 nas profundidades de 20-30, 30-40 e 40-50 cm. Segundo o autor, o solo da área é ácido, com fertilidade natural muito baixa, necessitando de cuidados especiais no manejo para manter a produtividade do sítio.

Segundo Pritchett; Fisher (1987), estudos mostram que quando outros fatores do sítio são mantidos constante, os níveis de nutrientes do solo são realmente relacionados com a produtividade florestal.

A matéria orgânica do solo é originada pelas plantas, minerais e microorganismos que nele habitam, sendo que a vegetação é a principal fonte, seja pela deposição de material (ramos e folhas) ou contribuição das raízes. Solos florestais normalmente possuem maior conteúdo de matéria orgânica que solos agrícolas, devido à maior deposição de material e à menor taxa de mineralização da matéria orgânica na floresta (MIRANDA, 2005).

Ritter; Vesterdal; Gundersen (2003) observaram que a acidificação do solo foi a mudança mais aparente ao longo da cronossequência em termos de uma



diminuição do pH de 6 para 4 na camada correspondente entre 5-15 cm de profundidade.

A avaliação comparativa da matéria orgânica fornecida ao solo pelo eucalipto, em comparação com outras espécies florestais indica, semelhantemente, um efeito positivo sobre a melhoria potencial das propriedades químicas do solo sob plantação de eucalipto (LIMA,1996).

A importância da matéria orgânica nos solos é abrangente. Sua atuação ocorre tanto na melhoria das condições físicas, quanto nas propriedades químicas e físico-químicas, no fornecimento de nutrientes às plantas e na maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC), além de proporcionar um ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota (FIGUEIREDO; RAMOS; TOSTES, 2008).

O teor de matéria orgânica presente em um solo florestal tem implicações com a fertilização, pois para Gonçalves; Benedetti (2005) as recomendações de fertilizações com nitrogênio ocorrem em função dos teores de matéria orgânica do solo, das quais, quanto maior esses teores, menor será a dose de fertilizante aplicada.

Miranda (2005) observou teores de matéria orgânica em plantios de eucalipto sob um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, na profundidade de 0-10 cm, na ordem de 40,9; 44,5 e 38,6 g dm<sup>-3</sup>, com idades de 14, 16 e 18 anos, respectivamente, e na profundidade de 10-20 cm com 31,4; 26,9 e 24,3 g dm<sup>-3</sup>. Esses teores de matéria orgânica não diferiram dos obtidos para florestas naturais da Mata Atlântica, sob Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico e Cambissolo Háplico Tb Distrófico argissólico.

Em plantios de *Eucalyptus globulus*, no oeste da Austrália, ocorreu uma diminuição no carbono do solo após o estabelecimento do povoamento em três anos estudados (TURNER; LAMBERT, 2000). Segundo os autores, as modificações das taxas de carbono no solo variam com o tipo de solo. Para Paul et al. (2002), o aumento do teor de argila do solo diminuiu o armazenamento de C na camada <10 cm, enquanto que nas camadas <30 e >10 cm ocorreu o contrário.

O movimento de nutrientes nos povoamentos florestais ocorre com a sua absorção pelas plantas, em camadas mais profundas do solo e o seu retorno à superfície pela lavagem da parte aérea e pelo ciclo biogeoquímico, liberando nutrientes do material vegetal depositado na superfície do solo, por meio da

decomposição microbiana. A exsudação de substâncias pelas raízes também pode ser distinta, o que propicia maior diversidade e atividade dos microrganismos do solo, afetando a decomposição e a liberação de nutrientes da serapilheira (VEZZANI; TEDESCO; BARROS, 2001).

Silva et al. (2007) avaliaram que mudanças na cobertura vegetal original, no sentido floresta-capoeira-pastagem, foram acompanhadas por uma diminuição nos teores de K, Ca, Mg, matéria orgânica, P, soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca catiônica.

Existem correlações entre o conteúdo de nutrientes no solo e nas plantas (FREITAS, 2000). Dessa forma, a adoção de espaçamentos menores reduz a disponibilidade dos nutrientes no solo. Por isso, em solos com fertilidade natural baixa deve-se preferir a utilização de espaçamentos mais amplos para que não ocorra um empobrecimento químico.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Caracterização da área de estudo**

#### **3.1.1 Localização**

##### **ÁREA 1**

O trabalho foi realizado em experimento instalado na Fazenda Cerro do Jacaquá, pertencente ao grupo StoraEnso divisão Rio Grande do Sul. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 29°39'09,21"S e 55°10'45,10"O, no município de São Francisco de Assis, na região da campanha sudoeste do Rio Grande do Sul.

##### **AREA 2**

A área 2 foi incluída no estudo, em função de que na área 1 os dados foram coletados no povoamento com eucalipto aos 12 meses de idade, portanto, os resultados não permitiriam conclusões sobre o efeito do eucalipto nas propriedades do solo. Desta forma, se avaliou uma área com dois povoamentos florestais de eucalipto e uma de campo nativo em uma propriedade particular no município de Manoel Viana (RS), localizada sob as coordenadas geográficas 29°34'30,16"S e 55°35'15,62"O.

#### **3.1.2 Clima**

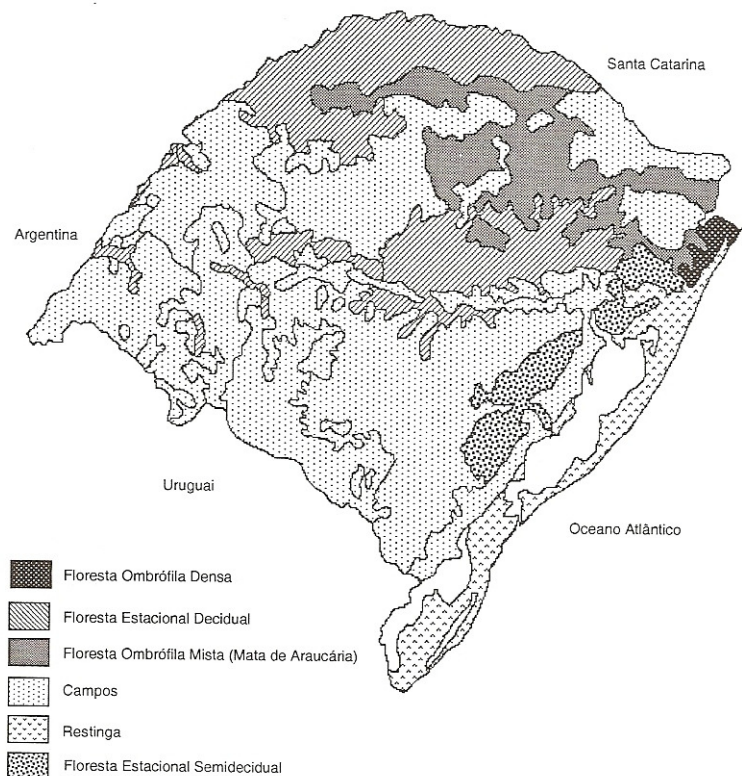
O clima da região, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961), é do tipo Cfa, com temperatura média anual de 18°C. A temperatura do mês mais quente é superior a 23°C e a do mês mais frio situa-se entre -3 e 18°C. A precipitação média anual atinge cerca de 1570 mm.

### 3.1.3 Solo

O solo das áreas estudadas é classificado como Argissolo Vermelho distrófico (STRECK et al., 2008). Segundo os autores, são solos profundos a muito profundos com presença de perfil com gradiente textural, ocorrendo em relevo suave ondulado a forte ondulado, com baixa fertilidade natural e elevada acidez.

### 3.1.4 Vegetação natural

A vegetação natural da região onde foi realizado o estudo é classificada como campo (Figura 1). Segundo Marchiori (2004), a palavra campo designa o tipo vegetacional correspondente a áreas desprovidas de mata.



**FIGURA 1 – Vegetação potencial do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.**

**Fonte: Quadros e Pillar (1990).**

De acordo com Porto (1990), a formação dos campos no Rio Grande do Sul é resultado de formações edáficas e não climáticas, pois as condições climáticas são favoráveis à existência de florestas, no entanto, estas não ocorrem. Além de

características edáficas, a pressão pelo pastejo é outro fator responsável pela formação de campo, constituído principalmente por gramíneas, compostas e leguminosas (RAMBO, 2005).

Para Leite; Klein (1990), essa região é fisiograficamente classificada como estepe, com relevo suave ondulado a ondulado e com grande uniformidade, o que condiciona uma cobertura vegetal simples, destituída de aglomerados formados por vegetação arbustiva e arbórea significativa, as quais, quando ocorrem, estão associados a acidentes geográficos, em locais mais protegidos da incidência dos ventos.

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

#### Área 1 - Experimento

Os tratamentos foram compostos por diferentes espaçamentos de plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden: 3,50X3,50 m; 3,5X1,75 m; 1,75X1,75 m; 1,75X0,87 m (Tabela 1). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro repetições, conforme representado na Figura 2. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas quadradas com área de 35X35 m (1.225 m<sup>2</sup>).

**TABELA 1 – Caracterização dos tratamentos usados no estudo.**

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

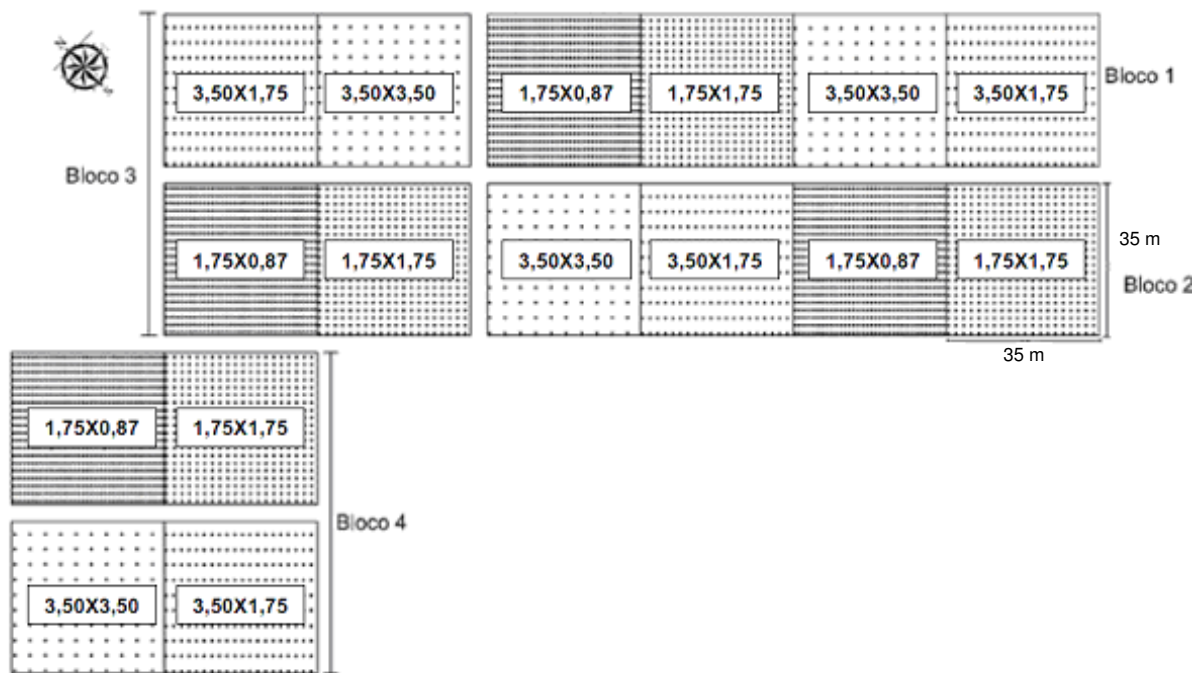
Em que: E = espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden; N = número de árvores/ha; n = número de árvores existentes na parcela; a = área disponível por planta.

A área estava ocupada com campo nativo submetido ao pastejo bovino, não havendo sinais de erosão e degradação do solo.

O preparo do solo foi realizado por meio de escarificação mecânica na linha de plantio com a utilização de um escarificador de uma haste. A profundidade do sulco foi de 30 cm e foi aplicado de 200 Kg/ha 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 Cálcio. A vegetação de campo nativo foi suprimida com a aplicação do herbicida Glifosato na dose de 1,2 Kg/ha na entrelinha de plantio. O plantio das mudas foi realizado 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.



**FIGURA 2 – Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.**

## Área 2

A área está localizada no município de Manoel Viana - RS. Foram utilizados dois povoamentos de eucalipto implantados nos espaçamentos 2X1 m (sítio 1) e 3X2 m (sítio 2), com 15 e 20 anos de idade, respectivamente. Também foi avaliada uma área de campo nativo com pastejo bovino (sítio 3), situando-se os três sítios próximos um do outro. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 12 unidades experimentais. Ambos os povoamentos de eucalipto já haviam recebido intervenções de desbaste.

Na Figura 3, é possível observar a propriedade rural, onde foi realizado o trabalho, com a localização dos dois povoamentos de eucalipto e do campo nativo, nos quais foram coletadas as amostras de solo. A área designada E1 corresponde ao eucalipto com espaçamento 2X1 m e 15 anos de idade, o E2 à área com eucalipto no espaçamento 3X2 m com 20 anos e o CN ao campo nativo.



**FIGURA 3 – Localização dos povoamentos de eucalipto (E1 e E2) e do campo nativo (CN) na área 2, Manoel Viana, Rio Grande do Sul, Brasil.**

**Fonte: Google Earth, 2010.**

### 3.3 Coleta e análise do solo

No experimento conduzido na Área 1, foi realizada, dentro de cada unidade experimental, uma coleta de solo anteriormente ao plantio das mudas de *E. dunnii* M. As amostras de solo foram coletadas em trincheiras, com profundidade de 1,50 m, nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00; 1,00-1,50 m. Após 12 meses de implantação, foi realizada uma nova coleta de solo, em cada unidade experimental. Porém a coleta foi realizada somente nas três primeiras

camadas de solo, devido ao pequeno porte das plantas, e porque, possivelmente as raízes ainda não terem atingido as camadas mais profundas do solo.

Na Área 2, o solo foi coletado nos dois povoamentos de eucalipto, na entrelinha de plantio, e em campo nativo até a profundidade de 1,50 m, em camadas semelhantes as camadas estabelecidas na Área 1. Foram coletadas amostras de solo de quatro trincheiras em cada tratamento.

As amostras de solo foram coletadas através de abertura de trincheiras, sendo realizada uma trincheira em cada unidade experimental na área 1, e quatro trincheiras em cada tratamento na área 2. Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas em cada camada, cujas determinações estão descritas posteriormente. Foram coletados dois cilindros contendo amostra com estrutura preservada por profundidade.

### 3.3.1 Análise física do solo

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

#### 3.3.1.1 Granulometria

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

#### 3.3.1.2 Densidade do solo e densidade de partículas

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



A densidade de partículas do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI; REINERT; REICHERT, 2006), e calculado pela seguinte fórmula:

$$DP = (Mbs - Mb) / [50 - (Mbsa - Mbs)/Da]$$

Em que:

DP = Densidade de partículas do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );

Mb = Massa do balão volumétrico (g);

Mbs = Massa do balão volumétrico contendo solo (g);

Mbsa = Massa do balão volumétrico contendo solo mais álcool (g);

Da = Densidade do álcool ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.3.1.3 Porosidade do solo

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

$$PT = (1 - Ds/Dp) * 100$$

$$\text{Microporosidade} = Va/Vt * 100$$

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

Em que:

PT = porosidade total (%);

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

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

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

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

### 3.3.1.4 Distribuição do tamanho dos agregados estáveis

A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água e a seco foi determinada nas camadas de solo de 0,0-0,10m e 0,10-0,20 m.

A distribuição do tamanho de agregados estáveis em água foi determinada pelo método padrão, sendo adotada a metodologia de Kemper; Chepil (1965). As amostras foram fracionadas observando o ponto de fraqueza, de tal forma que toda a massa de solo passasse na peneira de 8,0 mm, a qual foi posicionada sobre outra de 4,75 mm. Dos agregados retidos na peneira de 4,75 mm, aproximadamente 25 g foram pesados e colocados sobre um conjunto de peneiras com malhas de 4,75; 2,0; 1,0 e 0,21 mm. Em um aparelho de oscilação vertical, as amostras foram mantidas submersas por 10 min, e depois submetidas ao peneiramento em imersão por mais 10 min. Desta forma, realizou-se a separação dos agregados em cinco classes de tamanho: 8,0-4,75; 4,75-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,21 mm e < 0,21 mm. Os agregados obtidos em cada peneira foram transferidos para latas de alumínio, secados em estufa a 105°C e posteriormente pesados. Após esse procedimento foi realizada a separação do material não agregado. Para isso, o solo de cada lata foi passado pela respectiva peneira, que foi imersa em uma solução de água mais NaOH a 6% (1/3 de NaOH 6% para 2/3 de água) e lavado com jato de água, transferindo o material para lata de alumínio, secas em estufa e pesadas novamente.

Na determinação da distribuição do tamanho dos agregados por via seca, as amostras foram fracionadas observando o ponto de fraqueza, de forma que toda a massa de solo passasse pela peneira de 8,0 mm. Desses agregados, foi pesada uma amostra de aproximadamente 50 g, a qual foi submetida ao peneiramento para a separação dos agregados no mesmo conjunto de peneiras utilizadas na via úmida. Esse peneiramento foi realizado por meio de movimentos horizontais e, após a obtenção dos agregados em cada classe, as amostras foram colocadas em latas de alumínio, secadas em estufa a 105°C, e posteriormente pesadas.

Calculou-se a porcentagem de agregados obtidos em cada classe de peneira e o diâmetro médio geométrico (DMG) pelas seguintes fórmulas:

$$AGR_i = mAGR_i / \sum_{i=1}^n AGR_i$$

$$DMG = \text{EXP} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (AGR_i * LN(ci))}{\sum_{i=1}^n AGR_i} \right]$$

Em que:

$AGR_i$  = agregados obtidos em cada classe (%);

$mAGR_i$  = massa de agregados da classe i (menos a massa de areias);

$\sum_{i=1}^n AGR_i$  = massa total de agregados (menos areias) (g);

$LN(ci)$  = logaritmo natural das classes de diâmetro das peneiras

### 3.3.2 Análise química do solo

Para as determinações das propriedades químicas do solo, foi realizada a análise de pH em água,  $pH_{SMP}$ , fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio carbono orgânico total, nitrogênio total e matéria orgânica. Estas determinações químicas seguiram a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

O P e K disponíveis foram obtidos pelo extrator de Mehlich. O valor do Nitrogênio total e do Carbono Total foram determinados em Analisador Elementar modelo FlashEA 1112. A matéria orgânica foi obtida pela percentagem de carbono multiplicada por 1,724.

### 3.4 Desenvolvimento inicial de *Eucalyptus dunnii* Maiden

Na Área 1, foram realizadas avaliações dendrométricas da altura total e do diâmetro a 0,10 m, para a estimativa do crescimento inicial das plantas no decorrer dos três, seis, nove e doze meses do plantio. Aos 12 meses de idade foram realizadas medições do diâmetro a altura do peito (DAP) a 1,30 m, e, aos nove e doze meses, foram realizadas medições do raio de copa, seguindo os quatro pontos cardeais, com a utilização de paquímetro analítico e de trena.

Nas avaliações foi considerada como área útil a área composta pelas seis linhas centrais, descontando duas plantas de cada extremidade das unidades experimentais. Desta forma, o número de árvores amostradas foi diferente de acordo com o espaçamento adotado.

A partir das medições na área útil das unidades experimentais, foram calculadas as variáveis a taxa de sobrevivência (S), a área basal individual das plantas ( $g$ ) e a área basal por hectare (G). A área basal foi determinada somente aos 12 meses de idade.

A porcentagem de sobrevivência foi determinada com base na contagem das plantas vivas, estabelecendo-se uma proporção em relação ao número total de plantas esperados na área útil da unidade experimental.

$$S = (n_i / n_e) * 100$$

Em que:

S = Taxa de sobrevivência (%);

$n_i$  = Número de árvores medidas;

$n_e$  = Número de árvores esperadas.

A área basal individual e por hectare foi calculada em função do DAP das árvores aos 12 meses de idade.

$$g_i = (\pi d_i^2) / 4$$

$$\bar{g}_i = (\sum g_i) / n_i$$

$$G = \bar{g}_i * N$$

Em que:

$g_i$  = Área basal individual ( $m^2$ );

$d_i$  = Diâmetro médio a altura do DAP (m);

$\bar{g}_i$  = Área basal média da unidade experimental ( $m^2$ );

$\sum g_i$  = Somatório das áreas basais da unidade experimental ( $m^2$ );

$n_i$  = Número de árvores medidas na unidade experimental;

G = Área basal por hectare na unidade experimental ( $m^2 ha^{-1}$ );

N = Número de árvores por hectare na unidade experimental.

### **3. 5 Análise estatística dos dados**

Na área 1, os resultados obtidos aos 12 meses após a implantação do eucalipto foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Também foi realizada a comparação dos dados obtidos antes e após os 12 meses da implantação do eucalipto pelo teste “t” de Student para dados independentes, comparando os dados dentro de cada tratamento.

Na área 2, os dados foram analisados pela análise de variância e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Área 1

#### 4.1.1 Propriedades físicas do solo

##### 4.1.1.1 Granulometria

A análise granulométrica revelou que na camada de 0,00-0,10 m o solo possui textura areia e nas camadas 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00 m areia franca, na camada 1,00-1,50 m (horizonte B), nessa camada, a textura foi classificada como franco arenosa (Tabela 2).

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

**TABELA 2 - Caracterização granulométrica das camadas do Argissolo Vermelho distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

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

AG= Areia Grossa; AF= Areia Fina; Arg. = Argila

#### 4.1.1.2 Densidade do solo e densidade de partículas

Os diferentes espaçamentos de plantio de eucalipto não afetaram significativamente a densidade do solo após 12 meses de implantação de *E. dunnii* M. (Tabela 3), os valores de F para as camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m foram, respectivamente, 0,4517; 0,3888 e 0,6323. Similarmente, avaliando a densidade antes e após a implantação do eucalipto, dentro de cada espaçamento foi possível verificar que os espaçamentos de plantio também não promoveram diferenças significativas de densidade até o primeiro ano de instalação do povoamento.

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

Camada (m)	Espaçamentos (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
<b>Antes do plantio</b>				
0,00-0,10	1,58	1,56	1,60	1,57
0,10-0,20	1,66	1,61	1,64	1,64
0,20-0,40	1,56	1,59	1,55	1,58
0,40-0,60	1,50	1,55	1,52	1,50
0,60-1,00	1,48	1,48	1,49	1,46
1,00-1,50	1,46	1,44	1,52	1,48
<b>Após o plantio</b>				
0,00-0,10	1,58	1,59	1,59	1,58
0,10-0,20	1,63	1,58	1,60	1,65
0,20-0,40	1,57	1,58	1,57	1,57

Os valores de densidade, nas distintas camadas, variaram de  $1,44 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,66 \text{ g cm}^{-3}$ , e estão situados entre os limites de densidades de solos de textura areia e franco-arenosas, que variam entre  $1,20$  até  $1,80 \text{ g cm}^{-3}$  (Brady, 1989).

De acordo com Reichert; Suzuki; Reinert (2007), os valores de densidade do solo estão dentro dos limites considerados adequados para solos arenosos, considerando as boas condições estruturais do ponto de vista da densidade.

A densidade de partículas do solo variou de  $2,57 \text{ g cm}^{-3}$  a  $2,64 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 4). Nota-se que nos espaçamentos 3,50X3,50 e 3,50X1,75 m há uma redução na

densidade de partículas com o aumento da profundidade, da camada 0,00-0,10 m para as camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, enquanto nas camadas subseqüentes, ocorre aumento na densidade de partículas com a profundidade. Segundo Brady (1989), a faixa limite da densidade de partículas de solos minerais situa-se na faixa correspondente entre 2,60 a 2,75 g cm<sup>-3</sup>. Valores inferiores a estes podem estar relacionados com a matéria orgânica presente no solo, a qual apresenta uma menor massa por unidade de volume do que as partículas minerais e, desta forma, contribui para uma redução no valor de densidade de partículas de uma amostra de solo.

**TABELA 4 – Densidade de partículas (g cm<sup>-3</sup>) das camadas do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

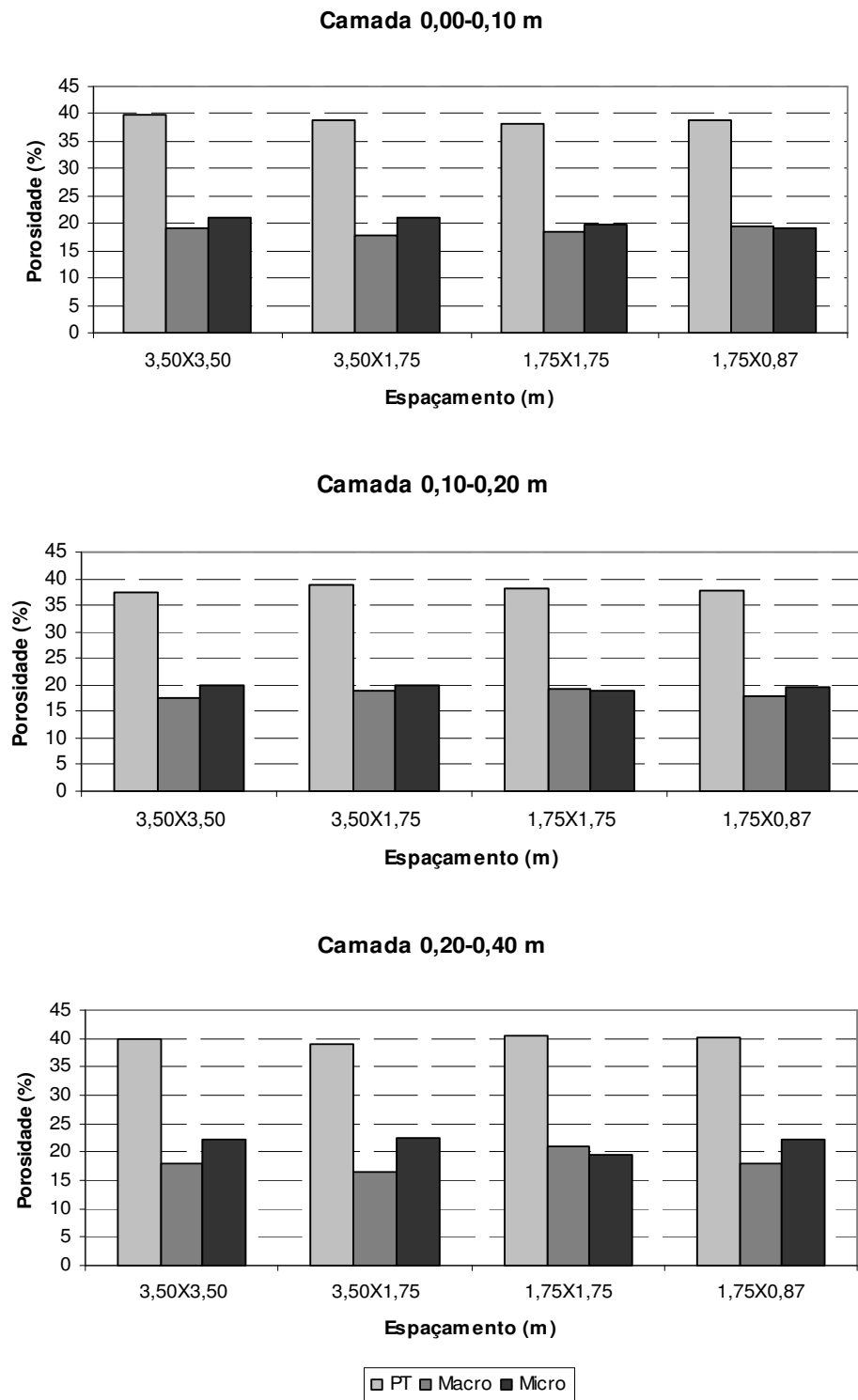
Camada (m)	Espaçamentos (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
0,00-0,10	2,62	2,60	2,57	2,57
0,10-0,20	2,61	2,59	2,60	2,59
0,20-0,40	2,61	2,59	2,62	2,63
0,40-0,60	2,61	2,61	2,57	2,58
0,60-1,00	2,60	2,62	2,60	2,56
1,00-1,50	2,63	2,61	2,64	2,62

Prevedello (2008) observou uma tendência do aumento na densidade de partículas do solo em profundidade em um argissolo no município de Santa Maria (RS). Em tal estudo, esse aumento na densidade de partículas foi atribuído ao decréscimo de matéria orgânica.

#### 4.1.1.3 Porosidade do Solo

A porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo na área com eucalipto não diferiu de acordo com os espaçamentos utilizados um ano após o plantio de *E. dunnii* M. (Figura 4).





**FIGURA 4 – Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

A porosidade total do solo variou de 38,21 a 39,97% na primeira camada, 38,95 a 36,42% na segunda camada e de 38,82 a 40,78 % na terceira camada. Esses valores estão dentro da faixa de espaço poroso para superfície de solos arenosos, que se situam entre 35 a 50% (BRADY, 1989). Em relação à porosidade total do solo, não se observou diferença significativa antes e após 12 meses de implantação de eucalipto.

Avaliando a porosidade antes e após um ano de implantação (Tabela 5), nota-se que, na camada 0,00-0,10 m, houve uma diferença significativa na microporosidade do solo no espaçamento 3,50X1,75 m. Na camada 0,20-0,40 m ocorreu uma redução da macroporosidade e um aumento da microporosidade 12 meses após a implantação do eucalipto nos espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75 e 1,75X0,87 m.

Essa redução da macroporosidade e aumento da microporosidade na camada 0,20-0,40 m, pode ser reflexo de certa compactação do solo, em função do tráfego durante as operações de preparo do solo e condução do povoamento. Essa compactação não se manifestou nas camadas superficiais, devido aos menores teores de argila e, talvez, através de um maior adensamento pré-existente das partículas do solo, em função do pastejo exercido anteriormente na área.

A redução da macroporosidade e o aumento da microporosidade do solo em estudo, ocorrida na camada 0,20-0,40 m, podem ser considerados benéficos, até certos limites, pois proporcionam maior capacidade de retenção da água neste tipo de solo que apresenta uma elevada porosidade com rápida infiltração da água.

Melloni et al. (2008), avaliando coberturas florestais e de pastagem na qualidade dos solos no sul de Minas Gerais, observaram que a microporosidade não diferiu entre os ecossistemas estudados, enquanto que a macroporosidade foi maior no ecossistema mata (34,31%), diferindo dos demais ecossistemas, cujos valores foram de 20,81%, 16,52% e 13,53% para eucalipto, araucária e pastagem, respectivamente.

**TABELA 5 – Porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes e após 12 meses de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Espaçamento (m)	Antes Plantio			Depois do Plantio		
	PT	Micro	Macro	PT	Micro	Macro
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>						
3,50X3,50	39,68	17,90	21,78	39,92	20,94	18,98
3,50X1,75	39,97	17,39*	22,58	38,88	21,17*	17,71
1,75X1,75	37,87	17,44	20,43	38,21	19,69	18,54
1,75X0,87	38,93	17,39	21,53	38,81	19,24	19,56
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>						
3,50X3,50	36,42	17,72	18,70	37,51	20,09	17,42
3,50X1,75	37,99	18,09	19,90	38,95	19,89	19,06
1,75X1,75	37,04	17,05	19,98	38,30	18,94	19,35
1,75X0,87	36,89	17,47	19,42	37,63	19,71	17,93
<b>Camada 0,20-0,40 m</b>						
3,50X3,50	40,08	18,45*	21,63	39,95	22,09*	17,87
3,50X1,75	38,82	18,17*	20,65*	38,96	22,5*	16,46*
1,75X1,75	40,78	17,54	23,24	40,48	19,56	20,91
1,75X0,87	39,68	17,83*	21,85*	40,25	22,24*	18,01*

\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro. PT = porosidade total; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade.

#### 4.1.1.4 Distribuição do tamanho dos agregados estáveis

Os diferentes espaçamentos de plantio não proporcionaram diferenças significativas na distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água após 12 meses de implantação do *E. dunnii* M. nas camadas de solo 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 6). O DMG variou de 3,97 a 4,50 mm na primeira camada, enquanto que, na segunda camada, o DMG variou de 2,26 a 3,26 mm.

Observa-se que, para o DMG, os valores da camada 0,00-0,10 m são maiores que os da camada 0,10-0,20 m (Tabela 6). Também se nota que, na primeira

camada, há uma maior proporção de agregados pertencentes à classe de diâmetro de 8,00-4,75 mm. Essa diferença ocorrida entre as duas camadas de solo pode estar relacionada ao efeito proporcionado pelo sistema radicular da vegetação de campo, o que contribuiu para a formação de agregados mais estáveis na camada superficial do solo. Resultado semelhante foi encontrado por Lima et al. (2008), estudando os atributos físicos de um Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo e comparando-os com o campo nativo. Nesse trabalho, os autores observaram uma maior agregação do solo para as camadas superficiais em campo nativo, o qual apresentou a maior porcentagem dos agregados estáveis em água nas classes de tamanho de 8,00-4,76 mm.

**TABELA 6 – Porcentagem dos agregados estáveis em água e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat.	Classes de Agregados (mm)					DMG (mm)
	8,00-4,75	4,75-2,00	2,00-1,00	1,00-0,21	<0,21	
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>						
3,50X3,50	82,29	9,50	0,69	1,57	5,95	4,50
3,50X1,75	79,79	9,69	0,85	1,49	8,18	4,13
1,75X1,75	79,43	11,18	0,68	1,97	6,74	4,31
1,75X0,87	78,95	9,30	1,05	2,02	8,67	3,97
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>						
3,50X3,50	55,21	13,34	3,48	12,15	15,81	2,37
3,50X1,75	66,56	12,75	2,94	7,06	10,69	3,26
1,75X1,75	66,05	13,52	2,97	6,12	11,34	3,28
1,75X0,87	55,70	14,21	2,97	9,62	17,49	2,26

Um dos fatores responsáveis pela ocorrência de maior porcentagem dos agregados na classe entre 8-4,75 mm, principalmente na primeira camada de solo, é o seu material de formação e os agentes cimentantes. Isso porque, segundo Tisdall; Oades (1982), agregados maiores são formados pela ação da matéria orgânica e pelo efeito das raízes. Dessa forma, a estabilização dos agregados do solo pode ter

como agente principal a matéria orgânica e as raízes da vegetação competidora e de campo, pois o solo é arenoso, e os principais agentes estabilizantes neste caso são os fatores bióticos, como a matéria orgânica, os micro-organismos do solo e o sistema radicular (BAVER; GARDNER; GARDNER, 1972).

Wendling et al. (2005), estudando o carbono orgânico e a estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos, também observaram redução na porcentagem de agregados maiores que 2 mm, no diâmetro médio geométrico e no diâmetro médio ponderado em profundidade, em todos os sistemas estudados. Segundo os autores, a maior proporção de agregados estáveis nas camadas superficiais do solo pode ser resultado de ciclos sucessivos de umedecimento e secagem, pois a camadas superficiais estão mais sujeitas a esses fenômenos.

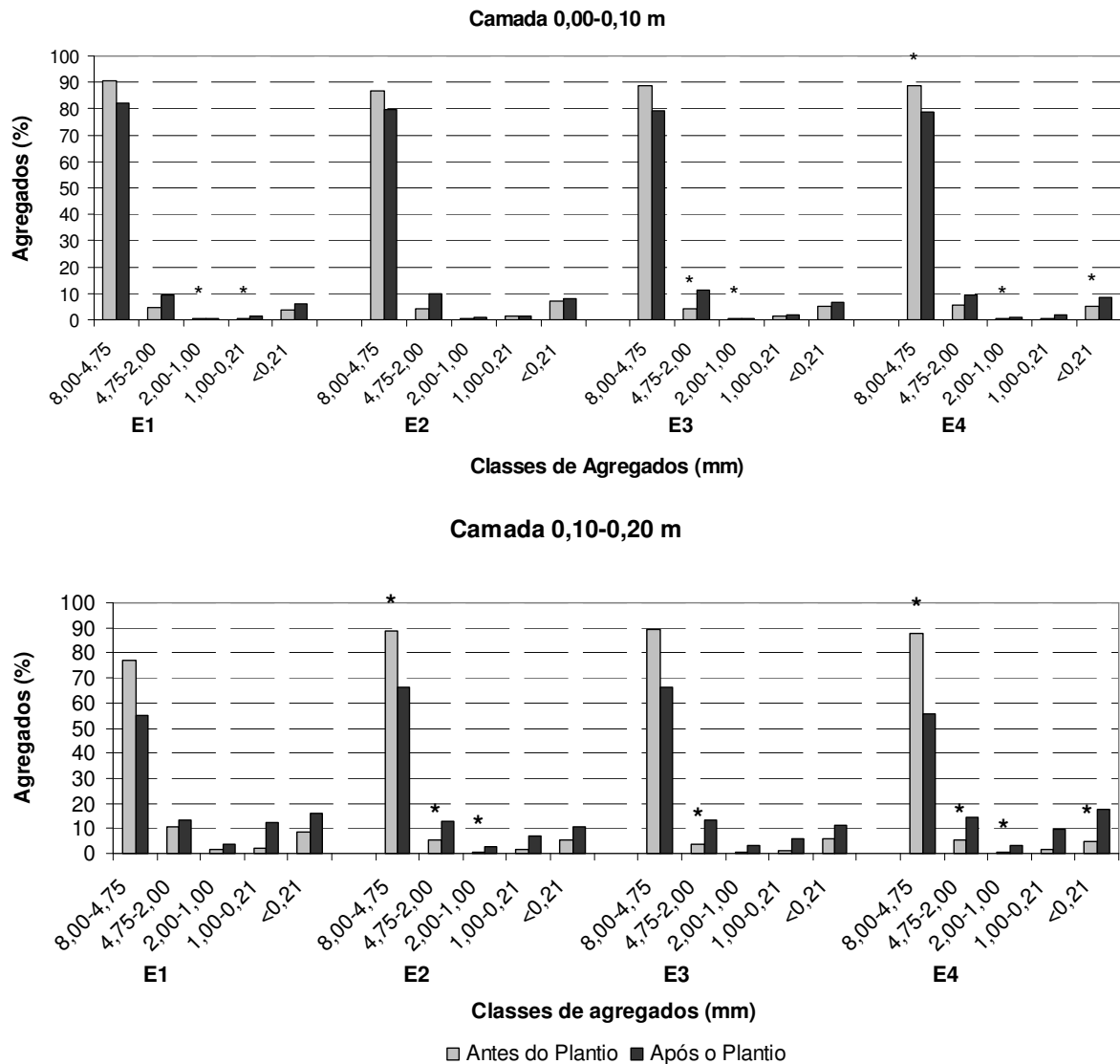
Na Figura 5, observa-se a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água antes e após 12 meses de implantação do *E. dunnii* M. Na camada 0,00-0,10 m, houve diferença significativa para o espaçamento 3,50X3,50 m nas classes de tamanho de 2,00-1,00 mm, para o espaçamento 1,75X1,75 m nas classes 4,75-2,00 e 2,00-100 mm, e no espaçamento 1,75X0,87 m nas classes 8,00-4,75, 2,00-1,00 e <0,21mm. Somente na classe 8,00-4,75 mm a agregação foi superior antes do plantio, enquanto nas demais classes e espaçamentos, a porcentagem dos agregados estáveis em água foi superior após o plantio.

De maneira geral, nota-se que o estado de agregação determinado pela distribuição dos agregados estáveis em água foi melhor antes da implantação do eucalipto, embora significativo apenas para o espaçamento de plantio 1,75X0,87 m.

Na distribuição dos agregados estáveis em água nas camadas de solo 0,10-0,20 m (Figura 5), a porcentagem dos agregados estáveis em água foi significativamente menor nas classes 8,00-4,75 mm após 12 meses de implantação do eucalipto nos espaçamentos 3,50X1,75 e 1,75X0,87 m.

A matéria orgânica, embora reduzida no solo em estudo, juntamente com o sistema radicular, pode ter contribuído para a alta agregação, pois o solo apresenta valores muito baixos de argila, a qual deve contribuir muito pouco na formação e na estabilização dos agregados. Outro fator que pode ter contribuído para a agregação do solo é a compactação através do pisoteio animal, pois a compactação pode promover uma maior estabilidade dos agregados do solo. Segundo Suzuki (2008), os fatores responsáveis pelo aumento no DMG em área de campo nativo e floresta

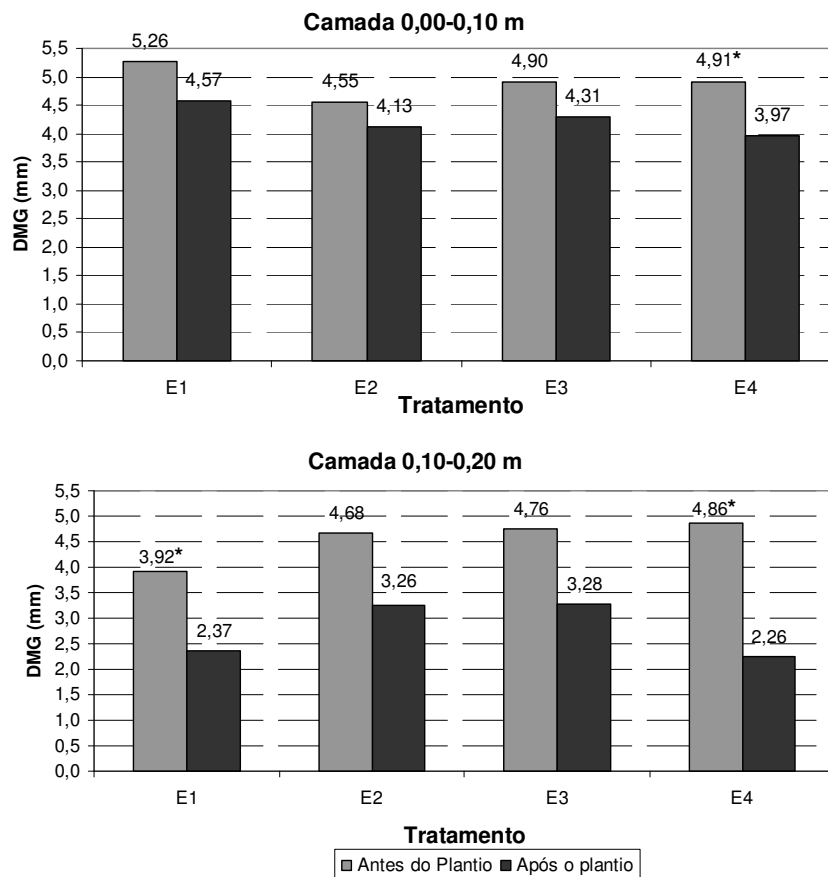
de eucalipto foram a compressão do solo (ocasionada pelas máquinas de colheita na área de floresta e pelo pisoteio animal em área de campo) e a textura do solo. Ainda de acordo com Suzuki (2008), em áreas de pastagem, além da matéria orgânica e da textura do solo, a compressão do solo pelo pisoteio animal contribuiu para aumentar o DMP na camada mais superficial.



\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

**FIGURA 5 – Porcentagem dos agregados estáveis em água nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de *Eucalyptus dunii* Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Na Figura 6, observa-se o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água antes e após 12 meses de implantação do eucalipto nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. O DMG reduziu com a implantação do eucalipto em ambas as camadas de solo, porém essa redução foi significativa estatisticamente somente para o espaçamento 1,75X0,87 m na camada 0,00-0,10 m e nos espaçamentos 3,50X3,50 m e 1,75X0,87 m na camada 0,10-0,20 m.



\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

**FIGURA 6 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

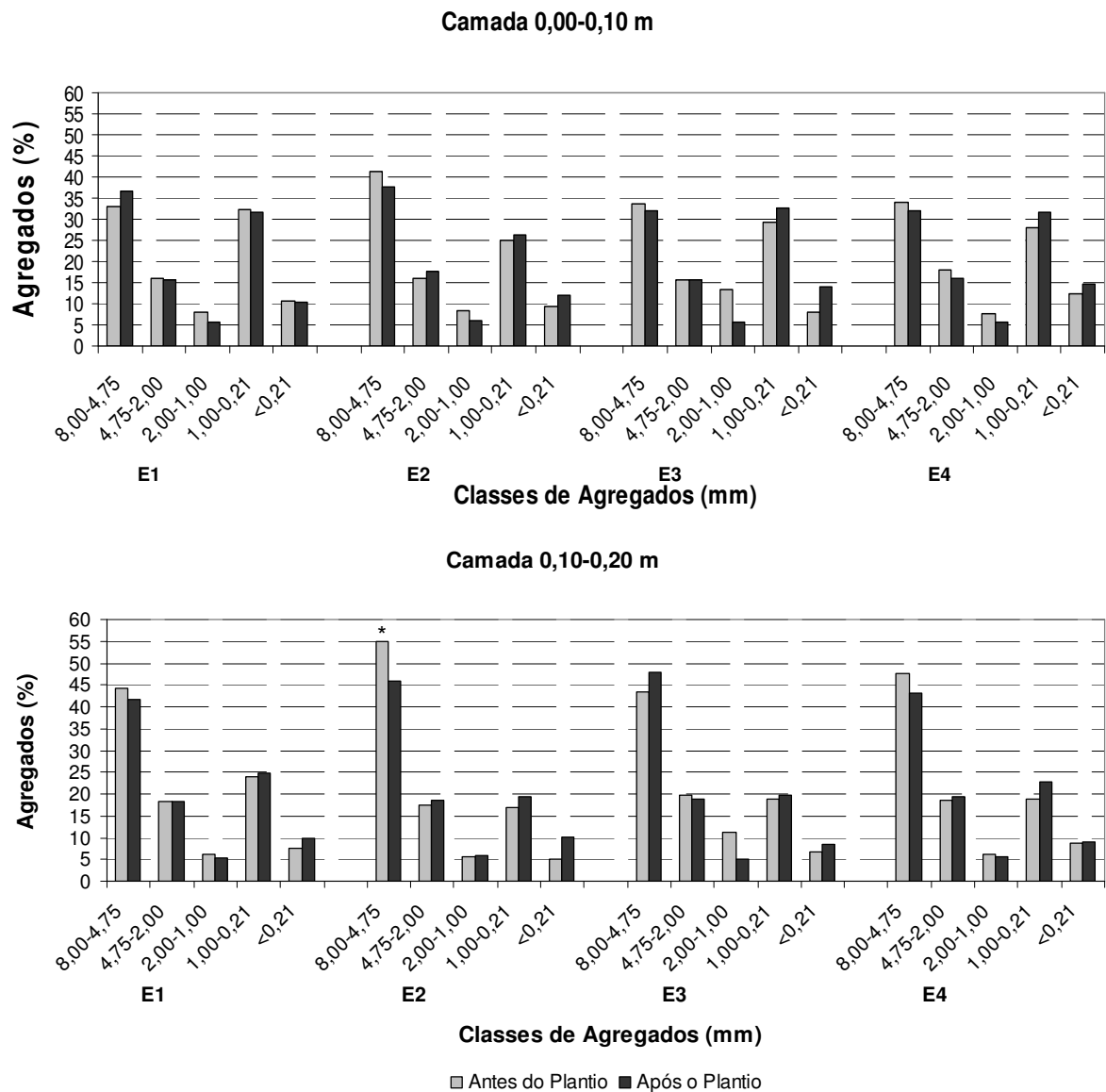
Aos 12 meses de idade, os diferentes espaçamentos de plantio não afetaram a distribuição do tamanho dos agregados estáveis a seco (Tabela 7), mantendo o mesmo padrão de comportamento observado para a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água. Contudo, a camada de solo 0,00-0,10 m apresentou menor porcentagem de agregados pertencentes na classe de tamanho 8,00-4,75 mm. Comportamento semelhante foi observado para o DMG.

**TABELA 7 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat.	Classes de Agregados (mm)					DMG (mm)
	8,00-4,75	4,75-2,00	2,00-1,00	1,00-0,21	<0,21	
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>						
3,50X3,50	36,78	15,54	5,60	31,64	10,43	1,70
3,50X1,75	37,80	17,75	5,96	26,40	12,09	1,82
1,75X1,75	31,97	15,68	5,64	32,66	14,04	1,42
1,75X0,87	31,86	16,02	5,56	31,73	14,83	1,38
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>						
3,50X3,50	41,60	18,18	5,46	24,85	9,92	2,03
3,50X1,75	46,00	18,51	5,88	19,47	10,14	2,20
1,75X1,75	47,76	18,98	5,15	19,73	8,37	2,45
1,75X0,87	43,03	19,31	5,72	22,85	9,09	2,13

Na Figura 7, observa-se a distribuição dos agregados estáveis a seco antes e após um ano de implantação do *E. dunnii* M. nos diferentes espaçamentos. Na camada 0,00-0,10 m, não foi observada diferença significativa na agregação do solo com o plantio do eucalipto. Entretanto na camada 0,10-0,20 m ocorreu diferença significativa para o espaçamento 3,50X1,75 m na classe de tamanho 8,00-4,75 mm, ou seja, houve redução da porcentagem dos agregados estáveis 12 meses após a implantação do eucalipto neste espaçamento, o que provocou uma diminuição no DMG (Figura 8).

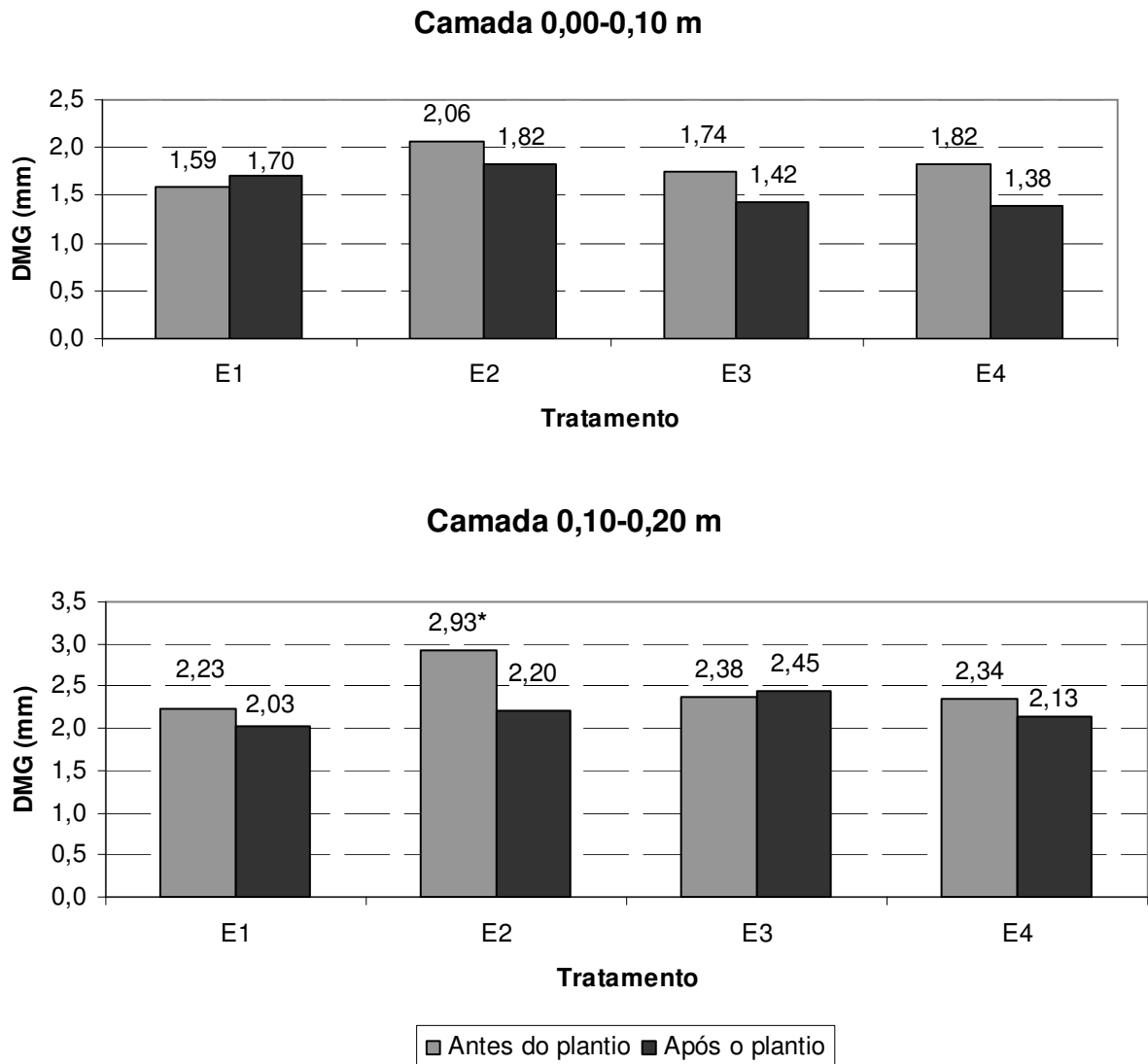




\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

**FIGURA 7 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Em estudo realizado por Neves et al. (2007), avaliando indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas agrossilvopastoris em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, verificaram que o campo nativo apresentou os maiores valores de DMG, evidenciando a grande agregação proporcionada ao solo nesse tipo de sistema.



\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

**FIGURA 8 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis a seco nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50 (E1), 3,50X1,75 (E2), 1,75X1,75 (E3), 1,75X0,87 (E4) de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes e após um ano de implantação, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Segundo Moreira; Siqueira (2006), os macroagregados do solo, apesar de serem facilmente desestabilizados pela ação do uso e do manejo do solo, são rapidamente formados pelas raízes das plantas e pelas hifas de fungos filamentosos. Ainda segundo o autor, outro fator que pode explicar a boa

estruturção do solo é que os solos sob gramíneas são geralmente bem estruturados devido ao sistema radicular abundante e à rizodeposição elevada.

Comparando a agregação do solo nos métodos via úmida (Figura 5) com a agregação via seca (Figura 7), percebe-se que no método via úmida houve uma maior porcentagem dos agregados na classe 8,00-4,75 mm. Isso pode ser decorrente da própria metodologia empregada, na qual na distribuição do tamanho dos agregados via úmida, a massa de solo submetida ao peneiramento corresponde aos agregados retidos na peneira de 4,75 mm.

#### 4.1.2 Propriedades químicas do solo

As propriedades químicas do solo, antes da implantação de *E. dunnii* M. e após 12 meses, estão apresentadas na Tabela 8. Não houve diferença significativa nas propriedades químicas do solo avaliadas 12 meses após a implantação da espécie florestal em estudo, indicando que os espaçamentos de plantio não afetaram as propriedades químicas do solo no primeiro ano de instalação do povoamento. Porém, diferenças significativas no pH, índice SMP e nos níveis de cálcio, magnésio e fósforo no solo foram observadas quando comparada a condição química antes e após 12 meses de implantação do *E. dunnii* M.

Observou-se aumento no pH do solo 12 meses após a implantação, cujas alterações foram significativas nas camadas 0,00-0,10 m para os espaçamentos 3,50X1,75 e 1,75X0,87 m, nas camadas 0,10-0,20 m nos espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75 e 1,75X1,75 m, e nas camadas 0,20-0,40 m os espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75 e 1,75X0,87 m.

Mesmo havendo um acréscimo nos valores do pH do solo com a instalação dos povoamentos de eucalipto, de acordo com SBCS (2004), o pH do solo pertence a classe de pH muito baixo.

A acidez potencial, representada pelo  $pH_{SMP}$ , também apresentou valores mais elevados com o cultivo do eucalipto no solo, sendo significativo somente para os espaçamentos 3,50X1,75 m na camada 0,20-0,40 m, 1,75X1,75 m também na camada 0,20-0,40 m e 1,75X0,87 m nas camadas 0,00-0,10 e 0,20-0,40 m.

**TABELA 8 – Propriedades químicas do Argissolo Vermelho distrófico nos espaçamentos 3,50X3,50m (E1), 3,50X1,75m (E2), 1,75X1,75m (E3) e 1,75X0,87m (E4) de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes (AP) e após um ano de implantação (DP), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Camada (m)	E1 AP	E1 DP	E2 AP	E2 DP	E3 AP	E3 DP	E4 AP	E4DP
<b>pH</b>								
0,00-0,10	4,50	4,80	4,37*	4,82	4,67	4,90	4,49*	4,90
0,10-0,20	4,19*	4,70	4,12*	4,72	4,35*	4,72	4,30	4,70
0,20-0,40	3,99*	4,47	3,98*	4,47	4,27	4,57	3,94*	4,52
<b>pH<sub>SMP</sub></b>								
0,00-0,10	6,34	6,50	6,13	6,37	6,32	6,25	6,26*	6,60
0,10-0,20	6,02	6,35	5,9	6,22	6,07	6,27	6,05	6,37
0,20-0,40	5,63	6,00	5,73*	6,10	5,70*	6,30	5,64*	6,32
<b>Al (cmol<sub>c</sub>/dcm<sup>-3</sup>)</b>								
0,00-0,10	0,425	0,475	0,600	0,500	0,400	0,475	0,320	0,500
0,10-0,20	0,085	0,083	0,120	0,090	0,088	0,090	0,103	0,093
0,20-0,40	0,147	0,125	0,145	0,145	0,162	0,123	0,185*	0,128
<b>Ca (cmol<sub>c</sub>/dcm<sup>-3</sup>)</b>								
0,00-0,10	0,167*	0,800	0,197*	0,775	0,190*	0,625	0,070*	0,650
0,10-0,20	0,178*	0,725	0,155*	0,775	0,276*	0,750	0,098*	0,750
0,20-0,40	0,144*	0,650	0,148*	0,725	0,196*	0,750	0,070*	0,675
<b>Mg (cmol<sub>c</sub>/dcm<sup>-3</sup>)</b>								
0,00-0,10	0,230	0,275	0,260	0,300	0,251	0,250	0,199	0,250
0,10-0,20	0,266	0,300	0,190	0,300	0,190	0,275	0,184*	0,275
0,20-0,40	0,166	0,225	0,154*	0,250	0,158	0,300	0,136*	0,250
<b>P (mg/dcm<sup>-3</sup>)</b>								
0,00-0,10	8,80	11,27	8,30	5,32	8,65	5,10	7,83*	4,50
0,10-0,20	4,35	3,55	4,04	3,35	4,54	3,00	5,19	2,22
0,20-0,40	3,07	2,40	3,00	2,05	2,68	2,05	2,93	1,67
<b>K (mg/dcm<sup>-3</sup>)</b>								
0,00-0,10	86,0	75,0	67,5	95,0	115,5	127,0	117,0	116,0
0,10-0,20	63,0	76,0	64,5	74,0	109,0	96,0	99,5	93,0
0,20-0,40	50,5	58,0	43,5	64,0	60,5	66,0	54,5	82,0

\* Diferença significativa antes e após um ano de implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden dentro de cada tratamento pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

O alumínio trocável apresentou um comportamento irregular de acordo com espaçamentos de plantio inicial utilizados, não sendo possível uma análise sobre o comportamento desta variável no solo com a instalação de povoamentos de eucalipto 12 meses após o plantio.

De acordo com as variáveis que expressam a acidez do solo, pode-se considerar o solo como muito ácido, cuja acidez foi reduzida em 12 meses com a instalação do povoamento de *E. dunnii* M. Também cabe ressaltar que não foi realizada calagem no solo. Portanto, essa redução da acidez pode ser efeito da própria dinâmica da espécie e da fertilização aplicada no solo.

Os valores de cálcio sofreram acréscimos em todos os espaçamentos utilizados para todas as camadas de solo após 12 meses da implantação do eucalipto. Efeito este que relacionado com a fertilização do solo, aumentando as concentrações do nutriente.

Semelhantemente ao ocorrido para o Ca, os níveis de Mg também aumentaram, porém houve diferença significativa apenas para o espaçamento 3,50X1,75 m, na camada 0,20-0,40 m, e 1,75X1,75 m nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Essa elevação dos nutrientes no solo após 12 meses da implantação dos povoamentos está relacionada com os efeitos da adubação e da liberação dos nutrientes pela decomposição das gramíneas existentes no campo anteriormente ao plantio. Outro fator contribuinte para este resultado é a baixa demanda de Ca neste estágio inicial, pois há uma grande acumulação do elemento na casca das árvores, cuja demanda ocorrerá em estágios futuros (LEITE, 1998).

Os níveis de P no solo diminuíram 12 meses após a implantação do eucalipto, de forma significativa apenas no espaçamento 1,75X1,75 m na primeira camada de solo. No espaçamento 3,50X3,50 m na camada 0,00-0,10 m, ocorreu elevação não significativa nos níveis de P do solo após a instalação do povoamento. Este fato está relacionado com a fertilização aplicada ao solo e com o espaçamento utilizado. Parte do nutriente aplicado ao solo se manteve devido à baixa mobilidade do P no solo e, como esse espaçamento é bastante amplo, há um número reduzido de árvores não sendo totalmente absorvido pelas plantas, havendo necessidade de usar maiores doses de fertilizantes fosfatados quando usar espaçamentos mais densos, para não ocorrer um empobrecimento químico o solo.

Em relação às reduções nos níveis de P no solo 12 meses após a implantação do eucalipto, tal fator ocorre devido as espécies florestais mais jovens explorarem as camadas mais superficiais do solo e requererem níveis de P mais elevados, que decrescem com a idade e menores níveis de K, Ca e Mg (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2005). Este fato comprova a significativa redução ocorrida no espaçamento 1,75X1,75 m na primeira camada de solo, a qual apresenta um elevado número de indivíduos, o que requer, desta forma, uma elevada quantidade de nutrientes para suprir essa demanda.

Segundo Raij (1991), há certa dificuldade de se avaliar a disponibilidade de P em solos que receberam aplicações recentes de quantidades elevadas de fosfatos solúveis. Assim, torna-se difícil explicar o comportamento do P no solo em estudo.

Os níveis de K no solo sofreram acréscimos com a instalação de povoamentos de *E. dunnii* M. para a maioria dos espaçamentos de plantio, com exceção do espaçamento 3,50X3,50 m na camada 0,00-0,10 m.

Liu et al. (2002) estudando o efeito da floresta natural, pastagens, vegetação arbustiva, floresta secundária e floresta cultivada nas propriedades do solo não observaram diferenças significativas entre os tratamentos nos conteúdos de P e K total no solo.

De acordo com SBCS (2004), os níveis de P para a classe de solo correspondente situam-se na faixa considerada como baixo a muito baixo, enquanto que para Novais; Barros; Neves (1986), os valores críticos de manutenção de eucalipto para P, K, Ca e Mg no solo variam de  $6,1 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. No presente estudo, com exceção do P na segunda e terceira camada e do Ca, os níveis dos nutrientes encontram-se acima deste limite crítico, havendo condições nutricionais para o desenvolvimento do povoamento.

Em relação às alterações ocorridas nas propriedades químicas do solo nos primeiros 12 meses de instalação do povoamento, não é possível obter muitas conclusões a esse respeito, sendo necessário um período de tempo maior para que ocorra competição entre as árvores e altere a dinâmica dos nutrientes no sistema.

Alguns nutrientes tiveram seus teores aumentados no solo devido ao efeito da adubação aplicada e não à introdução do eucalipto. Enquanto outros, requeridos em maiores quantidades pelas plantas na fase inicial e dependentes do espaçamento

ocorrem diminuição do seu teor no solo. Para esses há efeito do adensamento de plantio.

Na Tabela 9, observa-se a porcentagem de carbono, nitrogênio e matéria orgânica nos diferentes espaçamentos de *E. dunnii* M. antes e após 12 meses da implantação. Não foi observada diferença significativa entre os espaçamentos pela análise da variância após 12 meses da implantação do eucalipto, não havendo efeito dos distintos espaçamentos de plantio no C, N e M.O. do solo.

**TABELA 9 – Porcentagem de carbono orgânico total (C), nitrogênio (N) e matéria orgânica (M.O.) nos espaçamentos 3,50X3,50m (E1), 3,50X1,75m (E2), 1,75X1,75m (E3) e 1,75X0,87m (E4) de *Eucalyptus dunnii* Maiden antes (AP) e após um ano de implantação (DP), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Camada	E1 AP	E1 DP	E2AP	E2 DP	E3 AP	E3 DP	E3AP	E3 DP
<b>N (%)</b>								
0,00-0,10	0,060	0,055	0,064	0,054	0,062	0,055	0,061	0,052
0,10-0,20	0,049	0,046	0,052	0,048	0,048	0,051	0,047	0,046
0,20-0,40	0,051	0,045	0,049	0,049	0,047	0,047	0,045	0,046
<b>C (%)</b>								
0,00-0,10	0,575	0,502	0,617	0,494	0,605	0,490	0,594	0,461
0,10-0,20	0,429	0,428	0,500	0,441	0,439	0,458	0,435	0,426
0,20-0,40	0,527	0,414	0,484	0,459	0,449	0,442	0,448	0,442
<b>M.O. (%)</b>								
0,00-0,10	0,991	0,866	1,064	0,852	1,043	0,845	1,023	0,794
0,10-0,20	0,740	0,737	0,861	0,761	0,757	0,789	0,750	0,734
0,20-0,40	0,909	0,714	0,835	0,792	0,773	0,763	0,773	0,762

Após 12 meses de implantação do eucalipto, percebe-se redução, não significativa, do carbono e matéria orgânica em todos os espaçamentos com o cultivo do eucalipto. Esse tipo de redução inicial da matéria orgânica do solo com o cultivo geralmente ocorre devido à maior decomposição dos resíduos orgânicos do solo (PAUL et al., 2002; TURNER; LAMBERT, 2000). Binkley; Resh (1999) observaram mudanças, também não significativas, no carbono do solo em florestamento com *Eucalyptus* aos 32 meses, cujas alterações ocorreram com aumento do carbono no solo na camada superficial (0-15 cm) e reduções nas

camadas subseqüentes, porém essas mudanças não se relacionaram com o espaçamento.

Observa-se também redução, contudo não significativa, nos níveis de N total do solo com a instalação dos povoamentos de eucalipto. Essa redução é possivelmente consequência da alta demanda de florestas de eucalipto jovens por nutrientes. Segundo Vezzani; Tedesco; Barros (2001), em florestas de eucalipto, há uma elevada demanda de nutrientes, principalmente nitrogênio, até a formação da copa, sendo todo nutriente absorvido do solo.

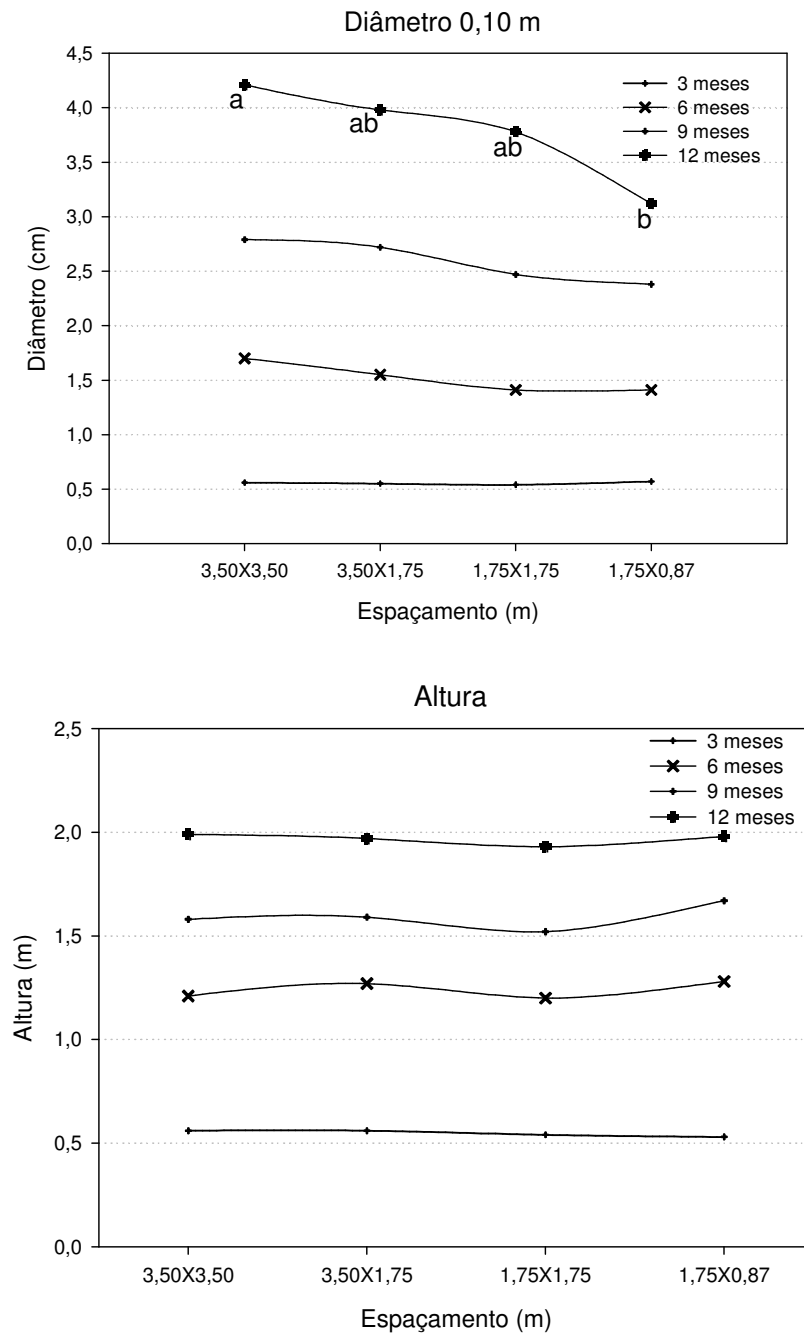
O sombreamento reduz a necessidade de N pelas plantas em até 50%. Contudo, em espaçamentos menores, há maior número de indivíduos e, com isso, a absorção de N torna-se similar ao do espaçamento mais amplo (PRIMAVESI, 1999). Assis; Ferreira; Cargnelutti Filho (2006) observaram que os espaçamentos não influenciaram os teores de N e P nas folhas de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade.

#### 4.1.3 Desenvolvimento inicial de *Eucalyptus dunnii* Maiden

O desenvolvimento de *E. dunnii* M. em diâmetro e altura aos três, seis, nove e 12 meses de idade está apresentado na Figura 9. Observou-se diferença significativa entre os espaçamentos somente para a variável diâmetro a 0,10 m, aos 12 meses de idade, sendo que o espaçamento 3,50X3,50 m foi o que apresentou as árvores mais grossas, diferindo significativamente do espaçamento 1,75X0,87 m.

Os resultados referentes às maiores dimensões de diâmetro (d 0,10), para os espaçamentos mais amplos, corroboram com os dados observados por Moraes (2006) com *Eucalyptus* spp. em Vazante (MG) e com Leles et al. (2001) com *E. camaldulensis* e *E. pellita* em João Pinheiro (MG). Segundo Moraes (2006), diversos autores já constataram que o diâmetro é uma característica altamente responsiva ao espaçamento de plantio, sendo tanto maior quanto maior a área útil por planta e a idade do povoamento, até certo limite. Segundo Balloni; Simões (1980), o aumento do DAP através do aumento do espaçamento entre árvores foi comprovado por centenas de trabalhos experimentais desenvolvidos nas mais diversas regiões do mundo, comprovando as maiores dimensões das árvores com o aumento do espaçamento de plantio.





Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**FIGURA 9 – Desenvolvimento inicial de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Quanto à altura média das árvores, não houve diferença significativa entre os tratamentos, não ocorrendo aumento da altura das árvores nos espaçamentos menores conforme descrito na literatura (BALONE; SIMÕES, 1980; MORAES, 2006).

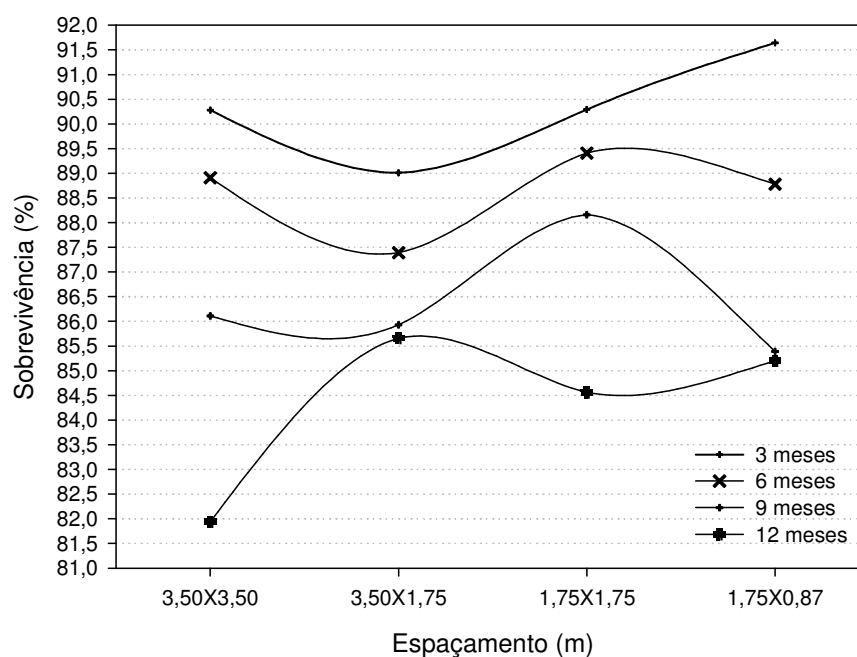
Resultados semelhantes foram observados por Pinkard; Neilsen (2003), avaliando características de povoamentos de *E. nitens* e a relação ao espaçamento de plantio inicial na Tasmânia, não havendo efeito do espaçamento nas alturas das árvores aos sete anos de idade.

Kruschewsky et al. (2007), avaliando o comportamento silvicultural e produtivo de *Eucalyptus* spp., sob quatro diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril, no cerrado de Minas Gerais, observaram maiores valores de diâmetro nos maiores espaçamentos de plantio aos 18 meses de idade, enquanto que a altura foi maior nos espaçamentos menores.

Em relação à porcentagem de sobrevivência das plantas (Figura 10), também não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. Além disso, observa-se que houve uma grande mortalidade inicial, fator que possivelmente está relacionado com as condições ambientais, pois a implantação ocorreu em outubro com posterior déficit hídrico devido à estiagem ocorrida nos meses do verão e outono na região.

A inexistência de diferenças significativas entre as alturas médias das árvores e porcentagem de sobrevivência com o espaçamento de plantio pode estar relacionada com a baixa competição entre as mesmas, sem a qual o efeito do espaçamento ainda não se manifestou sobre estas variáveis. Segundo Macedo et al. (2005), o potencial de estabelecimento de espécies florestais, avaliado por meio da porcentagem de sobrevivência, expressa a capacidade de adaptação e o vigor das mudas, frente às reais condições ecológicas observadas no campo. Deste modo, o resultado inicial de sobrevivência no presente estudo se reflete mais nas condições de adaptação das plantas ao sítio do que na própria relação com o espaçamento de plantio inicial. Para Botelho (1997) a não significância na porcentagem de sobrevivência das plantas com o espaçamento é normal durante a fase inicial do povoamento, pois a porcentagem de árvores dominadas e mortas cresce com a idade devido ao aumento na competição entre as mesmas.

Coutinho et al. (2004), em estudo avaliando o comportamento de 10 espécies de *Eucalyptus* spp. na Zona da Mata de Pernambuco, observaram uma sobrevivência de 100% para o *E. dunnii* M. aos 12 meses de idade, que apresentou altura média de 5,53 m e DAP de 5,76 cm, valores estes bem superiores aos observados no presente estudo.



**FIGURA 10 – Porcentagem de sobrevivência de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Na Tabela 10, observa-se que o DAP e área basal individual das árvores não foi influenciado pelo espaçamento inicial. Já em relação à área basal por hectare, observa-se que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, cuja maior área basal foi observada no menor espaçamento. Esses resultados estão relacionados com o maior número de plantas por área, o que contribuiu para elevar os valores de área basal (G), pois as variáveis que avaliaram as plantas individuais não revelaram diferença entre os espaçamentos em estudo. Esses resultados vêm ao encontro com os obtidos por Kruschewsky et al. (2007), os quais observaram que os diferentes arranjos estruturais do povoamento não influenciaram o desempenho produtivo das plantas individualmente, considerando que não houve diferença significativa no volume por planta. No entanto, os autores observaram maior volume por hectare e maior área basal por hectare nos menores espaçamentos.

Müller; Couto; Neves (2005), estudando a produção de biomassa e o balanço nutricional de uma plantação de eucalipto clonal em diferentes espaçamentos, aos 24 meses de idade, observaram que, nos tratamentos com maiores densidades de plantio, houve um maior volume de madeira e peso de biomassa seca. Segundo o autor, a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar

com o tempo em diferentes espaçamentos; no entanto, nos plantios mais densos, ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens, enquanto que, nos plantios com espaçamentos mais amplos, a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas. Esse fato pode ser muito importante do ponto de vista econômico, pois se pode economizar nos custos de implantação, de colheita e de transporte da madeira com a utilização de espaçamentos maiores, além da maior valorização dos produtos com maiores dimensões provenientes de espaçamentos mais amplos. Porém, a adoção de espaçamentos menores promove a formação de fuste mais cilíndrico, o que pode ser desejável dependendo do objetivo de produção (Pinkard; Neilsen, 2003).

**TABELA 10 – Diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H), área basal (g) e área basal por hectare (G) de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos 12 meses nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Espaçamento (m)	DAP (cm)	H (m)	Sobrevivência(%)	g (cm <sup>2</sup> )	G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
3,50X3,50	2,03 a	1,99 a	81,94 a	3,48 a	2843 b
3,50X1,75	1,81 a	1,97 a	85,66 a	2,59 a	4227 b
1,75X1,75	1,62 a	1,93 a	84,56 a	2,08 a	6795 b
1,75X0,87	1,74 a	1,98 a	85,20 a	3,44 a	15932 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 11, observam-se os valores de raio de copa de *E. dunnii* M. nos diferentes espaçamentos de plantio aos nove e 12 meses de idade, nos quais não foi verificada diferença significativa entre os diferentes espaçamentos utilizados, indicando que as plantas ainda não entraram em competição.

Para a variável área de projeção de copa, também não se observou diferença significativa entre os tratamentos, indicando que a competição entre plantas não ocorreu até os 12 meses de idade.

**TABELA 11 – Raio de copa nos quatro pontos cardeais e área de projeção da copa de *Eucalyptus dunnii* Maiden aos nove e 12 meses nos espaçamentos em Argissolo Vermelho distrófico, São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat	Raio de copa (m)				Média	Área Proj. (m <sup>2</sup> )
	N	S	L	O		
<b>9 meses</b>						
3,50X3,50	0,64	0,61	0,65	0,64	0,64	1,29
3,50X1,75	0,66	0,65	0,67	0,68	0,67	1,41
1,75X1,75	0,61	0,62	0,65	0,63	0,63	1,25
1,75X0,87	0,65	0,58	0,66	0,60	0,62	1,21
<b>12 meses</b>						
3,50X3,50	0,76	0,86	0,83	0,69	0,79	1,94
3,50X1,75	0,76	0,86	0,79	0,78	0,80	2,00
1,75X1,75	0,72	0,81	0,79	0,64	0,74	1,72
1,75X0,87	0,76	0,85	0,77	0,66	0,76	1,81

N, S, L e O = norte, sul, leste e oeste, respectivamente.

## 4.2 Área 2

### 4.2.1 Propriedades físicas do solo

#### 4.2.1.1 Granulometria

A distribuição granulométrica das partículas do solo está representada na Tabela 12. O solo apresentou textura franco arenosa, com exceção das camadas 0,60-1,00 e 1,00-1,50 nos tratamentos E1 e E2. Os teores de argila, na primeira camada de solo, foram de 14,66, 14,25 e 21,69% no E1, E2 e CN, respectivamente, enquanto que, na camada 1,00-1,50 m, os respectivos teores de argila situaram-se em 23,43; 41,22 e 37,81%.

Em comparação à granulometria do solo da Área 1, observa-se que há distinção nos teores de argila no perfil do solo. Isso ocorre devido à grande variação de textura neste solo, sendo que alguns solos apresentam uma variação textural

abrupta entre os horizontes pedogênicos, enquanto que em outros essa variação é gradual (MOSAR, 1990).

**TABELA 12 - Caracterização granulométrica das camadas de Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.**

Trat.	Camada (m)	AG (%)	A F (%)	Silte (%)	Arg. (%)	Classe Textural
<b>E1</b>	0,00-0,10	9,12	54,93	21,29	14,66	Franco Arenosa
	0,10-0,20	11,61	47,96	20,03	20,41	Franco Arenosa
	0,20-0,40	10,19	45,42	21,15	23,24	Franco Arenosa
	0,40-0,60	5,96	46,31	22,04	25,69	Franco Arenosa
	0,60-1,00	8,53	42,54	20,88	28,06	Franco Arenosa
	1,00-1,50	7,54	40,07	25,96	26,43	Franco Arenosa
<b>E2</b>	0,00-0,10	8,06	53,01	17,24	21,69	Franco Arenosa
	0,10-0,20	7,08	55,31	17,66	19,95	Franco Arenosa
	0,20-0,40	6,63	49,32	18,47	25,58	Franco Arenosa
	0,40-0,60	6,00	46,08	17,97	29,95	Franco Arenosa
	0,60-1,00	5,82	41,78	16,96	35,45	Franco argilo arenosa
	1,00-1,50	5,08	37,93	15,77	41,22	Franco argilo arenosa
<b>CN</b>	0,00-0,10	6,77	57,40	21,57	14,25	Franco Arenosa
	0,10-0,20	5,89	45,70	18,10	30,31	Franco Arenosa
	0,20-0,40	5,92	47,01	18,48	28,59	Franco Arenosa
	0,40-0,60	5,35	52,45	14,16	28,04	Franco Arenosa
	0,60-1,00	5,21	49,05	13,16	32,58	Franco argilo arenosa
	1,00-1,50	5,90	43,05	13,24	37,81	Franco argilo arenosa

E1 = eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2m.  
AF = Areia Fina; AG = Areia Grossa.

#### 4.2.1.2 Densidade do solo e de partículas

Os valores de densidade do solo não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 13), sendo que nas camadas do solo, os valores de densidade variaram de 1,39 a 1,63 g cm<sup>-3</sup>.

Wink (2009), avaliando as propriedades físicas de um Argissolo sob florestas de eucalipto aos 20, 44 e 240 meses e campo nativo, no município de Santa Maria (RS), observou valores de densidade do solo variando de  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ , não havendo diferença significativa entre os tratamentos em diferentes camadas de solo e nem em relação à profundidade para cada tratamento. Os valores de densidade encontrados pela autora estão próximos aos observados no presente estudo.

**TABELA 13– Densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) das camadas do Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus spp.* (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.**

Camada (m)	E1	E2	CN
0,00-0,10	1,50	1,54	1,39
0,10-0,20	1,63	1,60	1,59
0,20-0,40	1,62	1,56	1,60
0,40-0,60	1,56	1,54	1,61
0,60-1,00	1,54	1,49	1,55
1,00-1,50	1,59	1,48	1,57

E1= eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m.

Na Tabela 14, são apresentados os valores de densidade de partículas do solo, a qual não sofreu variação de acordo com os diferentes tratamentos. Os valores de densidade de partículas variaram de  $2,55$  a  $2,66 \text{ g cm}^{-3}$ .

Figueiredo; Ramos; Tostes (2008) também observaram que os valores de densidade de partículas não diferiram entre os sistemas de uso do solo estudados, cujos valores variaram de  $2,32$  a  $2,47 \text{ g cm}^{-3}$  em Latossolo no cerrado. Entretanto, Wink (2009) observou que em eucalipto aos 20, 44 e 240 meses e campo nativo em Argissolo, os valores de densidade de partícula estiveram em torno de  $2,48$  a  $2,62 \text{ g cm}^{-3}$ , com diferença significativa entre os tratamentos apenas na segunda e na última camada, nas quais os maiores valores de DP foram observados no campo nativo.

A densidade de partículas do solo é uma propriedade da natureza do material mineral predominante na sua composição (BRADY, 1989) pouco influenciada pelo

manejo ou sistema de uso, fator que explica a não relação do uso do solo na maioria dos casos com esta propriedade física.

**TABELA 14 – Densidade de partículas ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) das camadas do Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), Manoel Viana, RS, Brasil.**

Camada (m)	E1	E2	CN
0,00-0,10	2,55	2,59	2,56
0,10-0,20	2,60	2,65	2,55
0,20-0,40	2,56	2,59	2,56
0,40-0,60	2,58	2,62	2,58
0,60-1,00	2,55	2,59	2,57
1,00-1,50	2,59	2,66	2,60

E1= eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m.

#### 4.2.1.3 Porosidade do solo

Os diferentes tratamentos não diferiram entre si quanto à porosidade do solo (Figura 10). Também não houve diferença em profundidade para os tratamentos estudados. Porém, na camada 0,00-0,10 m, observa-se uma maior microporosidade (não significativa) em todos os tratamentos, em relação às demais camadas, o que pode estar relacionada à compactação do solo na camada superficial.

Na camada 0,00-0,10 m, houve maior porosidade total no CN, porém não significativa. Essa maior porosidade pode estar relacionada com os teores de matéria orgânica, os quais são mais elevados no CN para esta camada (Tabela 15).

Suzuki (2008), estudando qualidade físico-hídrica de um argissolo sob floresta e pastagem no Rio Grande do Sul, observou que os diferentes usos do solo afetaram a porosidade somente nas camadas mais superficiais, até 0,40 m de profundidade, sendo que a porosidade total na camada 0,00-0,10 m em floresta nativa foi superior aos demais usos do solo.



**TABELA 15 – Porosidade Total, Microporosidade e Macroporosidade do Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. e campo nativo, Manoel Viana, RS, Brasil.**

<b>Camada</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>CN</b>
<b>Porosidade Total (%)</b>			
0,00-0,10	41,05	40,49	45,88
0,10-0,20	37,30	39,36	37,66
0,20-0,40	38,48	39,71	37,16
0,40-0,60	39,58	41,25	37,76
0,60-1,00	39,50	42,51	39,78
1,00-1,50	38,60	44,39	39,38
<b>Microporosidade</b>			
0,00-0,10	24,90	28,35	29,87
0,10-0,20	26,52	24,79	26,58
0,20-0,40	28,36	27,52	24,16
0,40-0,60	29,38	30,60	29,01
0,60-1,00	30,18	30,47	30,09
1,00-1,50	32,28	30,81	31,41
<b>Macroporosidade</b>			
0,00-0,10	16,15	12,14	16,01
0,10-0,20	10,78	14,57	11,08
0,20-0,40	10,12	12,19	12,99
0,40-0,60	10,20	10,65	8,75
0,60-1,00	9,32	12,04	9,69
1,00-1,50	6,32	13,58	7,97

E1= eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m.

A não diferenciação da porosidade do solo nesta área de estudo, ao contrário do que ocorreu na Área 1 (aumento da microporosidade do solo um ano após a implantação do eucalipto em alguns tratamentos), pode ser decorrente de uma alteração inicial na Área 1 com as operações de preparo e manutenção do povoamento, as quais tendem a se anular ao longo do ciclo de cultivo (SOUZA et al., 2005). Segundo os autores, o cultivo promove aumento na densidade do solo, o que

geralmente ocorre nos primeiros anos, em decorrência da acomodação, que posteriormente pode diminuir, em virtude do incremento de matéria orgânica.

Olszewska; Smal (2008), estudando o efeito do florestamento com *Pinus silvestris* nas propriedades do solo, observou que os valores de porosidade total nos horizontes superficiais, tanto de florestas jovens como antigas, foram significativamente menores que para as florestas naturais. Todavia, comparando horizontes mais profundos, não houve diferença significativa na porosidade do solo entre os sítios estudados.

#### 4.2.1.4 Distribuição do tamanho dos agregados estáveis

A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água está representada na Tabela 16. Na camada 0,00-0,10 m, houve diferença significativa entre os tratamentos para a classe de agregados 8,00-4,75 mm e DMG, sendo observada uma maior porcentagem de agregados e DMG no E1, diferindo significativamente do CN.

Esses resultados não corroboram aos encontrados por Neves et al. (2007), o qual observou que o sistema campo nativo apresentou, em todas as profundidades, os maiores valores tanto de DMG como de carbono orgânico total, evidenciando o efeito benéfico da matéria orgânica na agregação do solo. Considerando o presente estudo, a maior agregação observada no E1 não está relacionada com a quantidade de matéria orgânica do solo, tendo em vista que no E1 os teores de matéria orgânica foram inferiores aos do CN na camada 0,00-0,10 m.

A relação da agregação do solo com os tratamentos estudados pode estar relacionada com maior atividade da matéria orgânica e agentes cimentantes promovidos pelos resíduos do eucalipto (TAYLOR; ASHCROFT, 1972). Além disso, outro fator que pode ter contribuído para tal fato são os ciclos de umedecimento e secagem mais intensos nas áreas sob cultivo do eucalipto. Neste caso, pode-se considerar o efeito do espaçamento. No espaçamento inicial 2X1 m (E1), há maior quantidade de árvores por área e maior absorção de água pelo povoamento aumentando a frequência dos ciclos de umedecimento e secagem. Também o tipo de estrutura que se forma no campo nativo é diferente do tipo que se desenvolve na floresta de Eucalipto. Agregados menores e granulares são freqüentes em áreas de campo e de estrutura granular com formação de blocos subangulares são

observados em áreas de menor conteúdo de matéria orgânica do solo e com maior intensidade de umedecimento e secagem.

**TABELA 16 – Porcentagem dos agregados estáveis em água e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat.	Classes de agregados (mm)					DMG (mm)
	8,00-4,75	4,75-2,00	2,00-1,00	1,00-0,21	<0,21	
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>						
E1	76,36 a	8,48 a	2,05 a	5,63 a	7,48 a	3,89 a
E2	73,16 a	8,61 a	1,82 a	7,81 a	8,59 a	3,57 ab
CN	37,22 b	14,33 a	2,52 a	34,06 a	11,86 a	1,84 b
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>						
E1	52,12 a	9,41 a	3,56 a	5,49 a	29,41 a	2,15 a
E2	70,30 a	7,84 a	2,04 a	9,29 a	10,53 a	3,27 a
CN	43,40 a	11,06 a	9,52 a	17,34 a	18,68 a	1,92 a

E1 = eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1 m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na camada de solo 0,10-0,20 m, não houve diferença significativa na distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água para os diferentes tratamentos.

Martins et al. (2002), avaliando a qualidade estrutural de um Latossolo vermelho distroférico sob quatro povoamentos florestais, observaram valores de DMG variando entre 2,04 a 4,47 mm, cujos maiores valores de DMG foram observados em mata natural.

Na distribuição do tamanho dos agregados estáveis a seco, representados na Tabela 17, não se observou diferença significativa na agregação do solo ente os tratamentos. Contudo, os valores de agregados estáveis na classe 8,00-4,75 mm e DMG foram menores no CN para a camada de solo de 0,00-0,10 m.

As diferenças nos resultados de agregação do solo de acordo com o emprego dos diferentes métodos podem ser advindas do método utilizado, no qual, para a determinação dos agregados estáveis em água, submeteu-se ao peneiramento uma

massa de agregados com dimensões entre 8,00-4,75 mm. Enquanto no método via seca, utilizou-se a amostra de agregados que passaram pela peneira de 8 mm. Desta forma, no método via úmida, os agregados submetidos à imersão e ao peneiramento em água já possuíam uma maior estabilidade que os agregados determinados pelo método via seca.

**TABELA 17 – Porcentagem dos agregados estáveis a seco e diâmetro médio geométrico (DMG) em Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat	Classes de agregados (mm)					DMG (mm)
	8,00-4,75	4,75-2,00	2,00-1,00	1,00-0,21	<0,21	
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>						
E1	38,00	23,06	7,90	19,00	12,03	1,97
E2	44,28	24,27	8,24	12,53	10,67	2,36
CN	35,65	23,51	8,56	15,79	16,48	1,90
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>						
E1	48,79	26,00	6,86	10,83	7,51	2,87
E2	47,29	25,09	7,39	10,82	9,40	2,61
CN	49,92	25,27	7,34	9,47	8,01	2,86

E1= eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1 m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m.

#### 4.2.2 Propriedades químicas do solo

As propriedades químicas das camadas do solo nos tratamentos com eucalipto e campo nativo podem ser observadas na Tabela 18.

O pH do solo foi superior no CN em relação aos tratamentos com eucalipto, sendo significativo nas camadas de solo 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00 e 1,00-1,50 m, enquanto que, nas duas primeiras camadas de solo, o pH do solo no CN não diferiu do E2.

Em profundidade, observa-se uma redução do pH do solo até a camada 0,20-0,40 m com posterior elevação nas camadas mais profundas em ambos os tratamentos com eucalipto. No CN, observa-se que ocorre uma redução do pH ao

longo do perfil do solo, com aumento na última camada de solo. Segundo Tomé Júnior (1997), o pH aumenta com a profundidade do solo, principalmente em condições naturais. No presente estudo, não foi verificada tal situação.

A acidez potencial, representada pelo  $\text{pH}_{\text{SMP}}$ , foi significativamente superior no solo sob CN na camada de solo 0,20-0,40 m, nas camadas 0,00-0,10; 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m, não diferiu do E1, enquanto na camada 0,10-0,20 não diferiu do E2, e na última camada de solo não diferiu do solo com eucalipto.

O Alumínio trocável do solo no CN foi significativamente inferior aos tratamentos com eucalipto para as camadas de solo 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m, enquanto que, para a camada de solo 0,00-0,10 m, não houve diferença entre os tratamentos, e na camada 1,00-1,50 m o Al no solo do CN foi inferior aos demais, porém não diferiu do E2.

Em profundidade, observa-se uma tendência de aumento do Al com a profundidade do solo, cujos teores são mais elevados nas camadas 0,10-0,20; 0,20-0,40.

Observando-se as propriedades do solo indicadoras de acidez, nota-se que, independente do tratamento, o solo é considerado ácido. O pH é caracterizado como baixo nas camadas superficiais do CN até a camada 0,40-0,60 m, e muito baixo para as demais camadas do CN e em todas as camadas do solo sob os tratamentos com eucalipto (TOMÉ JÚNIOR, 1997). Em relação ao alumínio, conforme a classificação do autor, o CN está classificado como baixo nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e como médio para as demais camadas, enquanto que o E1 e E2 estão classificados como alto, com exceção do E1 na camada 0,00-0,10 m, cuja classificação se dá como baixa.

A acidez do solo pode ser um fator atribuído às características próprias do solo, tendo em vista que, apesar de o tratamento ter interferido na acidez, os indicativos de acidez demonstram que ela se encontra elevada em todos os tratamentos. Segundo Oliveira et al. (2005), os solos podem ser ácidos devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a processos de formação que favorecem a remoção ou lavagem de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na e outros.

**TABELA 18 – Propriedades químicas em Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

Trat.	pH	pH <sub>SMP</sub>	Al	Ca	Mg	P	K
			cmol <sub>c</sub> .dcm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> . dcm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> .dcm <sup>-3</sup>	mg.dcm <sup>-3</sup>	mg.dcm <sup>-3</sup>
<b>Camada 0,00-0,10 m</b>							
E1	4,92 b	6,12 a	0,45 a	3,75 a	0,925 a	8,65 b	180 a
E2	4,47 ab	5,47 b	1,30 a	2,80 a	0,825 a	30,82 b	211 a
CN	5,20 a	6,05 a	0,35 a	6,10 a	1,900 a	69,55 a	252 a
<b>Camada 0,10-0,20 m</b>							
E1	4,25 b	5,22 b	2,21 a	1,62 b	0,700 a	5,07 b	65 b
E2	4,35 ab	5,47 ab	1,87 a	2,22 ab	0,775 a	22,00 ab	159 ab
CN	5,20 a	6,02 a	0,17 b	4,90 a	1,750 a	52,70 a	228 a
<b>Camada 0,20-0,40 m</b>							
E1	4,07 b	5,17 b	2,50 b	2,10 b	0,475 b	1,30 a	30 b
E2	3,85 b	5,10 b	3,87 a	1,17 c	0,350 b	2,97 a	183 a
CN	5,22 a	6,20 a	0,13 c	4,10 a	2,20 a	18,90 a	120 a
<b>Camada 0,40-0,60 m</b>							
E1	4,40 b	5,47 ab	2,22 a	3,07 a	0,450 b	1,07 a	21 b
E2	4,00 b	5,12 b	3,35 a	1,65 b	0,550 b	1,30 a	195 a
CN	5,00 a	5,77 a	0,75 b	3,32 a	2,175 a	10,07 a	189 a
<b>Camada 0,60-1,00 m</b>							
E1	4,55 ab	5,80 ab	1,95 b	3,57 a	0,525 a	0,90 a	27 b
E2	4,17 b	5,20 b	2,95 a	2,30 b	0,600 a	1,27 a	187 a
CN	4,75 a	5,87 a	1,05 c	2,77 ab	1,525 a	4,35 a	291 a
<b>Camada 1,00–1,50-m</b>							
E1	4,57 a	6,10 a	1,50 a	2,87 a	0,650 a	1,30 a	27 b
E2	4,17 a	5,97 a	2,40 ab	2,62 a	0,475 a	0,90 a	33 b
CN	4,85 a	6,25 a	0,98 b	3,07 a	1,025 a	1,50 a	323 a

E1 = eucalipto com 15 anos, espaçamento 2X1 m; E2 = eucalipto com 20 anos, espaçamento 3x2 m. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em relação à maior acidez ser observada para o solo com o eucalipto, essa pode ser causada por um processo natural relacionado com a decomposição de materiais orgânicos. Smal; Olszewska (2008 b) observaram maior acidez no solo com florestas plantadas em relação à floresta natural. Segundo os autores, a acidificação de solo florestado é comum e já foi observado por diversos autores.

Kasongo et al. (2009), estudando o impacto de *Acacia auriculiformis* na fertilidade de solos arenosos no Congo, observaram uma redução no pH do solo sob implantação de acácia. Essa redução de pH ocorreu ao longo do tempo e foi atribuída à decomposição da serapilheira.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação aos teores de Cálcio na camada de solo 0,00-0,10 e 1,00-1,50 m (Tabela 17). Na camada 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, a concentração de Ca foi significativamente superior no CN, não diferindo do E2 nas camadas 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m. As maiores concentrações do Ca no CN, para a maioria das camadas de solo, podem estar relacionadas com a maior absorção e acúmulo do nutriente na biomassa das árvores, influência que pode ser comprovada através das camadas 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1,00, nas quais os níveis de Ca no solo foram inferiores para o E2, o qual apresenta maior idade com maior biomassa aérea. Além disso, esta relação com a profundidade do solo pode ter como causa a maior concentração de raízes finas, responsáveis pela maior absorção de nutrientes nestas camadas.

Em profundidade, o Ca no solo sofreu reduções na segunda camada em relação à primeira com posterior aumento nas demais camadas para os tratamentos com eucalipto, enquanto que no CN, os níveis de Ca no solo reduziram em profundidade.

O magnésio no solo, assim como o Ca, foi superior no CN em relação ao eucalipto (E1 e E2), havendo diferença significativa nas camadas 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Em profundidade, ocorreram menores níveis de Mg no solo nas camadas 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 em relação à primeira camada e posterior aumento nas camadas subseqüentes.

Os níveis de fósforo no solo foram superiores no CN, sendo significativos nas camadas de solo 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. Na primeira camada, o teor de P no solo sob CN foi significativamente superior aos teores dos tratamentos com eucalipto, e na segunda camada não diferiu do E2.

Comparando os níveis de P no solo entre os tratamentos com eucalipto, observa-se que foram mais elevados no E2 contrastando com os resultados encontrados por Smal; Olszewska (2008) que observaram maiores teores de P total no solo sob florestas jovens em relação a florestas mais antigas. Foi observado nesse estudo uma redução dos níveis de P no solo com aumento da profundidade, evidenciando a baixa mobilidade do nutriente no solo. Segundo Fonseca et al. (1993a), o eucalipto, quando em ciclos rotacionais mais longos, pode ser eficiente na conservação do P no ecossistema, devido ao aumento da eficiência de sua utilização com a idade e com a intensa ciclagem.

O K foi superior no CN em relação aos tratamentos com eucalipto nas camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 1,00-1,50 m, não havendo diferença significativa na primeira camada. Na camada 0,10-0,20 m, o CN não diferiu do E2. Nas camadas 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m, os maiores níveis de K foram observados no E2, não diferindo significativamente do E1.

Os menores níveis de K observados no E1 podem estar relacionados com a taxa de absorção do nutriente pelas árvores, pois este tratamento apresenta maior número de árvores por área, havendo maior acúmulo de nutrientes na biomassa das árvores. Por outro lado, no E2 já houve reposição pela decomposição do material orgânico. Além disso, outro fator que pode ter contribuído são as diferenças de exigências nutricionais dos povoamentos. Lepsch (1980), avaliando a influência do cultivo de eucalipto e pinus nas propriedades químicas de solos do cerrado, notou diferença nos teores de Ca, Mg e K trocáveis na camada 0-20 cm de profundidade, cujos menores valores desses nutrientes foram observados para os solos sob cultivo de eucalipto em comparação com o cerrado.

Na Tabela 19, observam-se os teores de nitrogênio e carbono total e matéria orgânica. O nitrogênio não foi influenciado pelo uso, já o carbono e matéria orgânica foram maiores no E2 nas camadas 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, diferindo do E1 e CN.

Possivelmente, esses resultados sejam efeito da idade e não do espaçamento, havendo um maior estoque de carbono nos povoamentos mais velhos.



**TABELA 19 – Matéria orgânica nas camadas 1 (0,00-0,10m), 2 (0,10-0,20m), 3 (0,20-0,40m), 4 (0,40-0,60m), 5 (0,60-1,00m) e 6 (1,0-1,50m) em Argissolo Vermelho distrófico em *Eucalyptus* spp. (E1 e E2) e campo nativo (CN), São Francisco de Assis, RS, Brasil.**

<b>Camada</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>CN</b>
<b>Nitrogênio Total (%)</b>			
0,00-0,10	0,122 a	0,120 a	0,183 a
0,10-0,20	0,076 a	0,092 a	0,147 a
0,20-0,40	0,065 a	0,066 a	0,072 a
0,40-0,60	0,062 a	0,065 a	0,066 a
0,60-1,00	0,056 a	0,061 a	0,062 a
1,00-1,50	0,047 a	0,052 a	0,054 a
<b>Carbono Orgânico Total (%)</b>			
0,00-0,10	1,405 a	1,421 a	1,700 a
0,10-0,20	0,878 a	0,986 a	1,392 a
0,20-0,40	0,776 b	0,908 a	0,789 b
0,40-0,60	0,772 b	0,915 a	0,777 b
0,60-1,00	0,650 a	0,771 a	0,665 a
1,00-1,50	0,377 a	0,415 a	0,449 a
<b>Matéria Orgânica (%)</b>			
0,00-0,10	2,422 a	2,449 a	2,931 a
0,10-0,20	1,513 a	1,700 a	2,399 a
0,20-0,40	1,338 b	1,565 a	1,360 b
0,40-0,60	1,331 b	1,578 a	1,339 b
0,60-1,00	1,121 a	1,330 a	1,147 a
1,00-1,50	0,650 a	0,716 a	0,775 a

Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Nas duas primeiras camadas há um maior teor de carbono no CN, não significativo, diminuindo com a profundidade do solo e tornando-se menor que no eucalipto. Evidenciando o efeito do eucalipto na manutenção do C em camadas mais superficiais do solo. Fonseca et al. (1993b) observaram que o teor de C foi maior no solo sob *Eucalyptus paniculata* em relação à pastagem em todas as camadas de

solo. Resultado que se refletiu no presente estudo somente para as camadas 0,10-0,40 e 0,40-0,60 m. Alvarenga; Siqueira; Davide (1999) observaram teores de carbono total maiores nas amostras de solo de cerrado natural e pasto nativo, enquanto que os menores valores foram encontrados no eucalipto. Segundo os autores, nesses ecossistemas naturais, com maior diversidade de espécies, a decomposição diferenciada dos resíduos vegetais retorna ao solo de forma mais equilibrada os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, segundo Lepsch (1980), a maior renovação das raízes das gramíneas proporciona maior incorporação de matéria orgânica no horizonte A dos solos do que a manta vegetal das florestas implantadas, evidenciando o efeito do sistema campo nativo na manutenção do C em camadas superficiais do solo.

## 5 CONCLUSÃO

Após 12 meses da implantação do eucalipto na área 1 ocorreu redução na macroporosidade e aumento da microporosidade do solo nos espaçamentos 3,50X3,50; 3,50X1,75 e 1,75X0,87 m na camada 0,20-0,40 m. A distribuição dos agregados estáveis em água foi menor após o plantio, assim como a distribuição do tamanho dos agregados a seco foi menor no espaçamento 3,50X1,75 m na camada de 0,10-0,20 m de profundidade.

Ocorreu elevação no pH, Ca e Mg do solo após 12 meses de plantio do eucalipto, enquanto que o P foi reduzido após a implantação no espaçamento 1,75X1,75 m na camada de 0,00-0,10 m.

Os espaçamentos mais amplos promoveram maior crescimento em diâmetro a 0,10 m, já a área basal por hectare aos 12 meses de idade foram maiores nos espaçamentos menores.

Nos povoamentos com eucalipto aos 15 e 20 anos, nos espaçamentos 2X1 e 3X2 m, respectivamente, somente a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água foi alterada com o uso, havendo uma maior agregação do solo nos povoamentos de eucalipto em comparação às do campo nativo.

Na área 2 ocorreu maior acidez do solo nos povoamentos de eucalipto com 12 e 20 anos, enquanto que os níveis de Ca, Mg e K foram reduzidos. O povoamento de eucalipto com espaçamento 2X1 m aos 15 anos apresentou maiores valores de carbono orgânico total e matéria orgânica no solo, nas camadas 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, julho/set. 1999.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Rio de Janeiro, 1997. 166 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ASSIS, R. L. de; FERREIRA, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 151-157, set./dez. 2006.

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

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. IN: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure: classification and genesis. In: BAVAR, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R (Eds.). **Soil Physics**. New York: John Wiley, 1972. p.130-177.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, julho/set. 2001.

BINKLEY, D.; RESH, S. C. Rapid changes in soils following Eucalyptus afforestation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 222–225, Jan./Feb. 1999.

BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: Ed. UFV, 1997. 436 p.

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

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. do C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 46 – 56, junho 2002.

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

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/junho 2003.

COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F. dos; FERREIRA, R. L. C.; NASCIMENTO, J. C. B. Avaliação do comportamento de espécies de *Eucalyptus* spp. na Zona da Mata Pernambucana. I: resultados do primeiro ano – 2001. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 771-775, nov./dez. 2004.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 35 p.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 24-30, July/Sept. 2008.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 771-780, julho/ago. 2007.

FONSECA, S. da et al. Alterações em um latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem I. Propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 271-288, maio/junho 1993a.

FONSECA, S. da et al. Alterações em um latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem II. Propriedades orgânicas e microbiológicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 289-302, maio/junho 1993b.

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

GAVANDE, S. A. **Física del suelos:** principios y aplicaciones. México: Editorial Limusa. 1976. 351 p.

GERHARDT, E. J. **Influência dos fatores físicos do solo e dos nutrientes da serapilheira sobre o crescimento em altura da *Araucaria angustifolia* (Bert.) Otto Kuntze.** 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

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, J. L M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2005. 427 p.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e media no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 43 - 44, p. 24-39, jan./dez.1990.

GONÇALVES, J. L. de M. **Propriedades físico-químicas dos solos vs. exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento.** Piracicaba: IPEF, 1988, 16 p. (Circular Técnica, n. 154).

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, mar./abr. 2006.

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

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C.A. **Physical and Mineralogical Methods**. Madison, Wisconsin: ASA & SSSA, p. 495-509, 1965.

KASONGO, R. K. et al. Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Bate´ke´ lateau, D.R. Congo. **Soil Use and Management**, Amsterdam, v. 25, 21–27, March. 2009.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KRUSCHEWSKY, G. C. et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus spp.*, em sistema agrossilvipastoril no Cerrado. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 360-367, out./dez. 2007.

LEITE, E. P. et al. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 419-426, julho/set. 1998.

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

LELES, P. S. dos S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 77-87, junho 2001.

LEPESCH, I. F. Influência do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* nas propriedades químicas de solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 103-107, maio/ago. 1980.

LEROY B. L. M. et al. The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. **Soil Use and Management**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 139-147, Jun. 2008.

LIMA, C. L. R. de et al. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1849-1855, set./out. 2008.

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

LIU, S. L. et al. D. Effects of reforestation and deforestation on soil properties in humid mountainous areas: a case study in Wolong Nature Reserve, Sichuan province, China. **Soil Use and Management**, Amsterdam, v. 18, n. 4, p. 376-380, Dec. 2002.

MACEDO, R. L. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. F. (Teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 61-69, jan./mar. 2005.

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

MARTINS, S. G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan./mar. 2002.

MELLONI, R. et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, nov./dez. 2008.

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, julho/set. 2006.

MIRANDA, C. C. **Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União-RJ**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 74 p.



Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MOREIRA, F. M. S & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

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

MOSAR, J. M. Solos. In: IBGE (Ed.). **Geografia do Brasil: região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113-150.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e balanço nutricional das plantações de eucalipto clonal em diferentes densidades de plantio no município de Itamarandiba – MG. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 91-101, abr./junho 2005.

NEVES, C. M. N. das et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, n. 2, p. 45-53, junho 2007.

NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus spp.* – níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 105-111, jan./junho 1986.

OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A.; SANTOS, K. J. G. dos; MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de Cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2005.

OLSZEWSKA, M.; SMAL, H. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. I. Physical and sorptive properties. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 305, n. 1-2, p. 157-169, Apr. 2008.

PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, n. 1, p. 241-257, Set. 2002.

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

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

PREVEDELLO, J. **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.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1999. 549 p.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. 2 ed. New York: John Wiley e Sons. 1987. 494 p.

PRYOR, L. D. **The biology of *Eucalypts***. The Institute of Biology. Studies in Biology. London: Edward Arnold, 1976. 80 p.

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

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

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

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, Mar. 2009.

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: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Orgs.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 29- 48, 2003.

REIS, B. G. **O eucalipto no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, [19--]. 22 p.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, julho/ago. 2007.

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

RITTER, E.; VESTERDAL, L.; GUNDERSEN, P. Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. **Plant and Soil**, v. 249, p. 319-330, 2003.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SAMPAIO, A. N. Os eucaliptos no Brasil. **O Eucalipto e a ecologia**. Aracruz: Aracruz Celulose, 1975.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do solo: Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil florestal**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 06 jan. 2010.

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

SILVA, L. G. da et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, junho 2009.

SILVA, R. C. et al. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 101-107, jan./fev. 2007.

SMAL, H.; OLSZEWSKA, M. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 305, n. 1-2, p. 171-187, Apr. 2008.

SOUZA, E. D. et al. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, nov. 2005.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/ASCAR-RS, 2008. 222 p.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated and non irrigated soils. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1972. 533 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos: UFRGS, 1995. 174 p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic Matter and Water-Stable Aggregates in Soils. **European Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p.141-161. Jun. 1982.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para a interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

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.

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

TURNER, J.; LAMBERT, M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 231-247, Aug. 2000.

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona Da Mata De Minas Gerais**. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 225-231, jan./mar. 2001.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p.487-494, maio 2005.

WILDE, S. A. **Forest soils**. New York: The Ronald Press Company, 1958. 537 p.

WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

## **APÊNDICE**

**APÊNDICE A – Preparo do solo para o plantio, com escarificação na linha antes do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden na Área 1.**



**APÊNDICE B – Plantio das mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden na Área 1.**





**APÊNDICE C – Perfil do solo Área 1 antes do plantio de *Eucalyptus dunnii* (A) e perfil do solo na Área 2 sob o E1 (B) em Argissolo vermelho distrófico**



**APÊNDICE D – Coleta de solo**





**APÊNDICE E - Porosidade do Argissolo Vermelho distrófico sob campo nativo antes da implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden nos espaçamentos 3,50X3,50m, 3,50X1,75m, 1,75X1,75m e 1,75X0,87m na Área 1.**

<b>Camada (m)</b>	<b>3,50X3,50</b>	<b>3,50X1,75</b>	<b>1,75X1,75</b>	<b>1,75X0,87</b>
<b>Porosidade Total (%)</b>				
0,40-0,60	42,56	40,70	40,66	41,81
0,60-1,00	43,01	43,37	42,43	42,81
1,00-1,50	44,39	44,73	42,67	43,61
<b>Microporosidade (%)</b>				
0,40-0,60	17,31	17,41	16,79	17,30
0,60-1,00	17,95	18,47	22,33	17,63
1,00-1,50	24,35	26,33	26,64	25,22
<b>Macroporosidade (%)</b>				
0,40-0,60	25,26	23,29	23,86	24,51
0,60-1,00	25,06	24,90	20,11	25,18
1,00-1,50	20,04	18,40	16,03	18,39

**APÊNDICE F – Porcentagem de carbono orgânico total (C), nitrogênio (N) e matéria orgânica (M.O.) do argissolo vermelho distrófico sob campo nativo antes da implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden nos espaçamentos 3,50X3,50 m, 3,50X1,75 m, 1,75X1,75 m e 1,75X0,87 m na Área 1.**

<b>Camada (m)</b>	<b>3,50X3,50</b>	<b>3,50X1,75</b>	<b>1,75X1,75</b>	<b>1,75X0,87</b>
<b>%N</b>				
0,40-0,60	0,035	0,040	0,036	0,033
0,60-1,00	0,037	0,035	0,031	0,027
1,00-1,50	0,043	0,043	0,042	0,038
<b>%C</b>				
0,40-0,60	0,285	0,361	0,314	0,289
0,60-1,00	0,282	0,260	0,238	0,198
1,00-1,50	0,359	0,359	0,353	0,315
<b>M.O.%</b>				
0,40-0,60	0,491	0,622	0,541	0,498
0,60-1,00	0,486	0,448	0,410	0,342
1,00-1,50	0,619	0,619	0,609	0,542

**APÊNDICE G - Propriedades químicas do argissolo vermelho distrófico sob campo nativo antes da implantação do *Eucalyptus dunnii* Maiden nos espaçamentos 3,50X3,50 m, 3,50X1,75 m, 1,75X1,75 m e 1,75X0,87 m na Área 1.**

<b>Camada (m)</b>	<b>3,50X3,50</b>	<b>3,50X1,75</b>	<b>1,75X1,75</b>	<b>1,75X0,87</b>
<b>pH</b>				
0,40-0,60	4,035	3,995	4,025	3,975
0,60-1,00	4,203	4,200	4,100	4,200
1,00-1,50	4,323	4,370	4,320	4,370
<b>pH<sub>SMP</sub></b>				
0,40-0,60	5,963	5,888	5,898	5,840
0,60-1,00	5,903	6,060	5,850	6,138
1,00-1,50	6,078	5,783	5,908	5,873
<b>Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>				
0,40-0,60	0,133	0,150	0,135	0,150
0,60-1,00	0,118	0,108	0,108	0,110
1,00-1,50	0,105	0,138	0,165	0,140
<b>Ca (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>				
0,40-0,60	0,156	0,143	0,126	0,143
0,60-1,00	0,405	0,224	0,222	0,240
1,00-1,50	0,327	0,493	0,085	0,078
<b>Mg (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>				
0,40-0,60	0,147	0,138	0,112	0,097
0,60-1,00	0,215	0,176	0,111	0,150
1,00-1,50	0,245	0,296	0,312	0,287
<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
0,40-0,60	2,980	1,936	1,667	1,887
0,60-1,00	1,885	1,618	1,825	1,809
1,00-1,50	1,651	0,791	0,916	0,896
<b>K (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
0,40-0,60	39,000	30,000	48,500	41,000
0,60-1,00	36,500	24,500	47,500	49,000
1,00-1,50	43,500	51,000	80,500	46,500

**APÊNDICE H – Avaliação de crescimento em diâmetro e altura de *Eucalyptus dunnii* Maiden na Área 1, aos três, seis e nove meses de idade.**





**APÊNDICE I – Avaliação de crescimento em diâmetro (d 0,10m e DAP), altura e raio de copa de *Eucalyptus dunnii* Maiden na Área 1 aos 12 meses de idade.**

