

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

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E
CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

TESE DE DOUTORADO

Suzana Ferreira da Rosa

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E
CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

Suzana Ferreira da Rosa

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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
Doutora em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

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

Rosa, Suzana Ferreira da
Propriedades físicas e químicas do solo e crescimento de *Eucalyptus dunnii* maiden em diferentes espaçamentos de plantio / Suzana Ferreira da Rosa.-2013.
96 p.; 30cm

Orientador: Dalvan José Reinert
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Qualidade do solo 2. Densidade de plantas 3. Cultivo de eucalipto I. Reinert, Dalvan José II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Suzana Ferreira da Rosa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: julccccc.nnnnn@yahoo.com.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO
DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS
DE PLANTIO**

elaborada por
Suzana Ferreira da Rosa

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

COMISSÃO EXAMINADORA

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

Douglas Rodrigo Kaiser, Dr. (UFFS)

Ivanor Muller, Dr. (UFSM)

Luciano Colpo Gatiboni, Dr. (UDESC)

Nirlene Fernandez Cechin, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 27 de maio de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade e apoio durante a minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao professor Dalvan pela orientação e confiança no decorrer do trabalho.

Aos professores Frederico e Ivanor pela ajuda e ensinamentos e aos membros das bancas de qualificação e defesa pelas contribuições.

À Stora Enso S/A pela disponibilidade da área para a realização do trabalho.

Aos meus pais Vilsiomar e Oneida pelo apoio incondicional, ao meu irmão Neimar pela torcida e a minha irmã Denise pelo incentivo, torcida e ajuda nos momentos que necessitei.

Ao meu esposo Marcos pelo incentivo, ajuda, compreensão e paciência.

Aos colegas do laboratório de Física do Solo por tornarem esta fase mais agradável e inesquecível, em especial ao Alan, Bernardo, Cedinara, Charlotte, Claudine, Débora, Eloi, Júlio, Lenise, Maíra, Marta, Marton (*in memoriam*), Neiva, Rafael Goulart, Rafael Busanello, Sérgio, Samara, Simone que auxiliaram em algum momento.

À secretária do PPGEF, Tita, por todo o auxílio despendido.

À Deus que me concedeu o dom da vida.

Enfim, agradeço à todos que estiveram presente durante esta etapa na minha vida e que contribuíram de alguma forma para este trabalho.

RESUMO

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

AUTORA: SUZANA FERREIRA DA ROSA

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Data e local da defesa: Santa Maria, 27 de maio de 2013.

O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações ocorridas nas propriedades físicas e químicas de um solo arenoso e o crescimento das árvores após a implantação de povoamentos de eucalipto em diferentes espaçamentos. O trabalho foi realizado a partir da instalação de um experimento implantado com *Eucalyptus dunnii* Maiden em campo nativo, nos espaçamentos 3,50X3,50m; 3,50X1,75m; 1,75X1,75m e 1,75X0,87m, em um Argissolo Vermelho Distrófico no município de São Francisco de Assis (RS). O experimento foi instalado em delineamento experimental blocos ao acaso, com quatro repetições. As avaliações das propriedades físicas e químicas do solo foram feitas antes do plantio e após 24 e 36 meses de cultivo do eucalipto, em que foram coletadas, em cada unidade experimental, amostras de solo nas camadas 0,00-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,40m para a avaliação das propriedades físicas e nas camadas 0,00-0,10m; 0,10-0,20m; 0,20-0,40m; 0,40-0,60m e 0,60-1,00m para as propriedades químicas. As propriedades físicas do solo avaliadas foram: a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água. As propriedades químicas determinadas foram: pH em água, Cálcio, Magnésio e Potássio trocáveis, Fósforo disponível, Nitrogênio e Carbono Orgânico totais. As avaliações de crescimento das árvores foram feitas aos 12, 18, 24, 30, 36 e 42 meses após o plantio, foram feitas medições do diâmetro a altura do peito (DAP) e altura das plantas, determinada a porcentagem de sobrevivência e calculada a área basal por hectare. Os resultados indicam que o cultivo de eucalipto interferiu na estrutura do solo através da redução na agregação, na densidade e na macroporosidade. No entanto não se verificou efeito do espaçamento de plantio nas propriedades físicas do solo aos 24 e 36 meses de cultivo do eucalipto. Quanto às propriedades químicas, o cultivo do eucalipto promoveu redução do pH; e dos teores de Ca e K nas camadas mais superficiais e aumentou o Ca nas camadas mais profundas; aumentou os teores de Mg na superfície do solo e reduziu na camada 0,60-1,00m; reduziu os teores de N e C nas camadas superficiais. Não se verificou efeito do espaçamento de plantio na porcentagem de sobrevivência das plantas até os 42 meses de idade. Em relação ao crescimento, observou-se maior DAP nos espaçamentos mais amplos, enquanto a altura foi maior nos espaçamentos mais densos, entretanto, essa relação pode ser alterada, pois a floresta apresenta-se em fase de pleno desenvolvimento. Em relação à área basal por hectare, os espaçamentos mais densos apresentam área basal mais elevada devido ao maior número de plantas.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Densidade de plantas. Cultivo de eucalipto.

ABSTRACT

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

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND GROWTH *Eucalyptus dunnii* MAIDEN IN DIFFERENT PLANTING SPACINGS

AUTHOR: SUZANA FERREIRA DA ROSA

ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT

Date and place of the defense: Santa Maria, May 27th, 2013

The study was carried out to evaluate the changes in the physical and chemical properties of a sandy soil and the tree growth after afforestation of an *Eucalyptus* forest planted in different spacing. It was accomplished an experiment planted with *Eucalyptus dunnii* Maiden planted on native grassland. The spacings of cultivation were 3,50x3,50m; 3,50x1,75m; 1,75x1,75m and 1,75x0,87m. The soil studied was an Alfisol located in São Francisco de Assis city. The experimental design was a complete randomized block with four replicates. It was studied physical and chemical properties of the soil before and after 24 and 36 months of old. Soil samples were taken, for each experimental unit, in the layers soil 0,00-0,10m; 0,10-0,20m; 0,20-0,40m to determine physical properties and layers 0,00-0,10m; 0,10-0,20m; 0,20-0,40m; 0,40-0,60m; 0,60-1,00m to chemical properties. The soil physical properties measured were: bulk density, total, macro and microporosity and wet aggregate size distribution. The soil chemical properties measured were: water pH, exchange Calcium, Magnesium and Potassium, available Phosphorus, and Total Nitrogen and Organic Carbon. The trees growth was evaluated to 12, 18, 24, 30, 36 and 42 months old, it was measured breast height diameter (DAP) and height of the plants, the survival percentage was determined and calculated the basal area for hectare. The results indicate to *Eucalyptus* cultivation changed soil structure by reduce the aggregation, the bulk density and the macroporosity. However it is not observed effect of the plant spacing on the physical properties to 24 and 36 months of *Eucalyptus* cultivation. In the chemical properties the *Eucalyptus* cultivation reduced pH, Ca and K contents of the surface layers and increase Ca content of the deep layers, increase contents Mg contents of the surface layers and reduced in the 0,60-1,00m layer; reduced contents of the N and C in the surface layers. It is not observed effect of the spacing planting in the survival percentage until 42 months old. It was higher DAP in the large plant space, while the height was higher in the narrower plant spacing, however this resulted can be changed because the forest is in full fledge. The basal area per hectare was higher in the narrower plant spacing because of there are more plants.

Key-words: Soil quality. Plant density. *Eucalyptus* cultivation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de nutrientes (g kg ⁻¹) nos compartimentos da biomassa de <i>Eucalyptus</i> spp.....	28
Tabela 2 – Caracterização granulométrica de densidade de partículas das camadas do Argissolo Vermelho Distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil.....	36
Tabela 3 – Densidade do solo (g cm ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	51
Tabela 4 – Porosidade total do solo (m ³ m ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	53
Tabela 5 – Macroporosidade do solo (m ³ m ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	54
Tabela 6 – Microporosidade do solo (m ³ m ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	55
Tabela 7 – pH do solo antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.	56
Tabela 8 – Teores de Cálcio (Ca) no solo (cmol _c dcm ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	59
Tabela 9 – Teores de Magnésio (Mg) no solo (cmol _c dcm ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.	60
Tabela 10 – Teores de Fósforo (P) no solo (mg dcm ⁻³) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	61

Tabela 11 – Teores de Potássio (K) no solo (mg dcm^{-3}) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	63
Tabela 12 – Teores de Nitrogênio (N) no solo (%) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	64
Tabela 13 – Teores de Carbono (C) no solo (%) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.....	65
Tabela 14 – Índice de sobrevivência (%) em um povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico em São Francisco de Assis, RS.....	67
Tabela 15 – Diâmetro a altura do peito médio (DAP cm) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.....	69
Tabela 16 – Altura média (m) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.....	71
Tabela 17 – Área basal média ($\text{G m}^2 \text{ ha}^{-1}$) de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden em diferentes idades implantado em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.....	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.38
- Figura 2 – Localização da fazenda com a área experimental no município de São Francisco de Assis, RS, Brasil. Fonte: Google Earth, 2013.38
- Figura 3 – Preparo do solo com escarificação na linha antes da implantação de *Eucalyptus dunnii* Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.39
- Figura 4 – Implantação manual de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos em São Francisco de Assis, RS, Brasil.40
- Figura 5 – Coleta de solo com estrutura preservada antes da implantação (a) e após 24 meses (b) de cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.41
- Figura 6 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água antes e após 24 e 36 meses do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.47
- Figura 7 – Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água antes e após 24 e 36 meses do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.48
- Figura 8– Diâmetro a altura do peito (DAP cm) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.70
- Figura 9 – Altura média de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes idades implantado em espaçamentos em Argissolo Vermelho Distrófico.73
- Figura 10 – Área basal média ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes idades implantado em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	– Carbono orgânico total
Ca	– Cálcio
Cm	– centímetros
DAP	– Diâmetro à altura do peito (1,30 m)
DMG	– Diâmetro Médio Geométrico
G	– Área basal da árvore
G	– Área basal por hectare
g cm ⁻³	– Gramas de nutrientes por centímetro cúbico de solo
ha	– hectare
K	– Potássio
KCl	– Cloreto de Potássio
m	– metro
m ³ m ⁻³	– metros cúbicos de poros por metros cúbicos de solo
Mg	– Magnésio
N	– Nitrogênio total.
NaOH	– Hidróxido de Sódio
P	– Fósforo
pH	– potencial de hidrogênio do solo
S%	– Taxa de sobrevivência

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados do solo e da distribuição dos agregados classes de tamanho de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 meses.93
- Apêndice B – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados do solo e da distribuição dos agregados classes de tamanho de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 36 meses.93
- Apêndice C – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a densidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.....94
- Apêndice D – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Porosidade Total de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.....94
- Apêndice E – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Macroporosidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.....94
- Apêndice F – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Microporosidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.....95
- Apêndice G – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Eucalyptus	16
2.2 Espaçamento de plantio	18
2.3 Qualidade do solo	19
2.4 Propriedades físicas do solo.....	21
2.5 Propriedades químicas do solo	27
2.6 Crescimento e produção florestal	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Caracterização da área de estudo	36
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	37
3.3 Coleta e análise de solo.....	40
3.4 Crescimento e sobrevivência de Eucalyptus dunnii Maiden.....	43
3.5 Análises estatísticas	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Propriedades Físicas do Solo	46
4.2 Propriedades químicas do solo	55
4.3 Porcentagem de sobrevivência e crescimento de Eucalyptus dunnii.....	66
5 CONCLUSÕES	76
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICES	92

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal no Brasil tem ganhado destaque frente à economia do país. Em 2011, a área total de florestas plantadas atingiu 6.515.844 ha, sendo 74,8% correspondente aos plantios de Eucalyptus, cuja área plantada totalizou 4.873.952 ha, com crescimento de 2,5% (119.617 ha) em relação ao indicador de 2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012).

Nos últimos anos, o Rio Grande do Sul aumentou os investimentos no setor madeireiro de celulose e papel e, dessa forma, a área de plantios de eucalipto atingiu, em 2011, 280.198 ha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012). O Rio Grande do Sul é o sexto maior produtor de celulose e papel e detém 5,7% da área de florestas plantadas com eucalipto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012). Tal expansão dos cultivos florestais com eucalipto, no Rio Grande do Sul, gerou críticas com relação às alterações no ambiente natural promovido pelas espécies florestais de rápido crescimento. No entanto, essa discussão não é recente, pois desde os primórdios da atividade silvicultural. No Brasil, têm-se questionado a respeito dos efeitos dos plantios florestais nas propriedades do solo, pois se considera que os plantios florestais homogêneos são cultivados em ciclos curtos, com o uso de materiais genéticos com elevado potencial produtivo em solos com baixa fertilidade natural (LEITE, 2001). Além disso, o cultivo do eucalipto pode promover algumas alterações decorrentes da relação com a matéria orgânica da serapilheira depositada (LIMA, 1996).

O espaçamento de plantio pode intensificar as modificações decorrentes ao solo, tendo em vista que a maior densidade de plantas retira maior quantidade de nutrientes e acumula na biomassa e, ainda, atinge a idade da colheita mais cedo do que em espaçamentos mais abertos. Isso faz com que ocorra uma baixa taxa de conversão de nutrientes em biomassa e reduz o tempo para que a exaustão de nutrientes do solo e a perda de produtividade ocorram (LEITE, 2001). Além disso, a densidade populacional de plantas interfere nas relações hídricas do solo em função da alta densidade de raízes em espaçamentos menores (LEITE et al., 1998).

O espaçamento de plantio altera as condições de produtividade dos povoamentos florestais, de forma que em povoamentos muito densos há uma grande produção em volume de madeira fina, enquanto que em espaçamentos mais amplos a produção é menor, mas com produto de maior valor comercial. Dessa forma, deve-se aliar o objetivo de produção da floresta com as técnicas silviculturais adotadas na implantação e no manejo da mesma, pois a densidade do povoamento, depois da capacidade produtiva do sítio, é o principal 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 (SCHNEIDER, 1993).

Há diversos estudos já realizados sobre a produtividade de eucalipto em diferentes espaçamentos (BALLONI; SIMÕES, 1980; BALLONI, 1983; REZENDE et al., 1981). No entanto, atualmente com a obtenção de espécies melhoradas com elevado potencial produtivo, ainda pouco se sabe sobre a produtividade destes cultivos em diferentes espaçamentos em sítios de baixa a média produtividade (BERNARDO et al., 1998). Essa relação da produtividade com o sítio ocorre pelas diferenças de resposta ao espaçamento quanto à produção e partição de fotoassimilados, os quais podem ocorrer em consequência da qualidade do local, no que se refere à disponibilidade de água, nutrientes e luz (OLIVEIRA NETO et al., 2003).

De acordo com o relatado anteriormente, o setor florestal no Brasil encontra-se em constante expansão e o gênero *Eucalyptus*, por apresentar boa adaptação, rápido crescimento em ciclo de curta rotação e a alta produtividade, é o mais plantado. Porém, à atividade silvicultural são destinados os solos de baixa fertilidade natural, baixa capacidade estrutural e/ou degradados pelo uso com outras culturas. Tais fatores promovem limitações ao crescimento das plantas, principalmente quando os plantios ocorrem em solos com predominância de textura arenosa e distribuição irregular da precipitação, como na campanha do Rio Grande do Sul. Esses solos possuem baixa capacidade de retenção de água, sendo os efeitos negativos da estiagem mais acentuados, principalmente quando se utilizam de técnicas silviculturais inadequadas. Além disso, apesar de algumas espécies de eucalipto se adaptarem à baixa fertilidade do solo, à elevada acidez e ao regime hídrico irregular, a produção pode ser aumentada com manejo e espaçamentos adequados (LELES et al., 2001).

Nesse sentido, o estudo teve por objetivo avaliar as condições físicas e químicas de um solo arenoso, no Rio Grande do Sul, após a implantação de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden (eucalipto) e verificar o efeito da densidade de plantio sobre o solo e o crescimento das árvores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eucalyptus

A introdução do *Eucalyptus dunnii* no Brasil, ocorreu em 1964, na região de Monte Alegre (PR) a 900 m de altitude. Desde então, a espécie apresentou certa resistência ao frio, sendo capaz de suportar temperaturas mínimas de até -5° C (FERREIRA et al., 1997). O *Eucalyptus dunnii* ocorre, naturalmente, em pequenas áreas no noroeste de Nova Gales, e ao sul e sudoeste de Queensland, na Austrália, distribuído numa faixa latitudinal de 28° a 30° S (EMBRAPA, 1986). Ocupa áreas com altitude entre 150 a 825 m. O clima nessas áreas é quente e úmido, com média das temperaturas máximas do mês mais quente entre 27 a 30° C e a média das mínimas do mês mais frio variando de 0 a 3° C. Ocorrem, ainda, de 20 a 60 geadas por ano, com baixa intensidade (EMBRAPA, 1986). Na região a precipitação varia de 800 a 1500 mm, com chuvas concentradas no verão, mas há meses com menos de 40 mm de precipitação. A espécie ocorre principalmente no fundo de vales e baixas altitudes (SPELTZ; MONTEIRO, 1982).

O *Eucalyptus* têm ocorrência natural na Austrália, Indonésia e algumas ilhas próximas (MORA; GARCIA, 2000). O gênero *Eucalyptus* pertence à família das Myrtaceas, com cerca de 600 espécies adaptadas as mais diversas condições de clima e solo (MORA; GARCIA, 2000).

No Brasil, as primeiras mudas de eucalipto foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868 e, no mesmo ano, também foram plantados alguns exemplares na Quinta da Boa Vista, no Rio de Janeiro (MORA; GARCIA, 2000). No entanto, a introdução comercial de espécies de *Eucalyptus* ocorreu, inicialmente, para suprir a demanda de lenha pelas locomotivas e para servir de dormentes para os trilhos das ferrovias da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (HASSE, 2006). A partir daí, os plantios do gênero estenderam-se para todo o centro e sul do país, intensificando-se 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).

Na década de 90, devido ao uso múltiplo das plantações de eucalipto, as indústrias aumentaram os interesses, com isso passaram a dar atenção para utilização racional dos recursos naturais, procurando preservar, conservar e interligar as áreas naturais, manter a produtividade florestal, promover o uso múltiplo das florestas e desenvolver sistemas e equipamentos para minimizar os esforços físicos dos trabalhadores, riscos com acidentes e possíveis danos ao solo (MORA; GARCIA, 2000).

Com a intensificação e o aprimoramento das pesquisas científicas e a melhoria das operações, os rendimentos triplicaram (STAPE et al., 2010). Além disso, estudos realizados com o fim de selecionar espécies, relacionando a produtividade com as condições ambientais de solo e clima, permitiram aumentar a produtividade dos sítios, através do uso de espécies já adaptadas ao ambiente de implantação.

Atualmente, o eucalipto está entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose e de carvão vegetal (biomassa energética) para siderurgia e fabricação de cimento, bem como para serrarias, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades (LIMA, 1996).

Através de estudo e seleção de espécies adaptadas a distintas condições climáticas, algumas empresas de base florestal passaram a cultivar o *Eucalyptus dunnii* no Rio Grande do Sul, como suprimento de matéria prima para indústrias de celulose e de papel. Isto porque as características florestais do *Eucalyptus dunnii*, como a capacidade de suportar geadas intensas e severas, tornaram a espécie promissora para o cultivo no Rio Grande do Sul (MORA; GARCIA, 2000; SOUZA; SOARES; BATISTA, 2003).

A ocorrência natural do *Eucalyptus dunnii* é verificada em solos profundos, férteis, e com boa drenagem (DICKINSON, 2006). Em solos pobres, a performance da espécie é inferior à de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, que são mais eficientes no uso de nutrientes (LEE et al., 2006). A espécie prefere solos úmidos e férteis, principalmente de origem basáltica, mas também cresce em solos derivados de rochas sedimentares, principalmente naqueles com boas condições de drenagem (FLORES; ALBA; WREGGE, 2009).

No Sul do Brasil, o *Eucalyptus dunnii* tem se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência a geadas não muito severas (FLORES; ALBA; WREGGE, 2009). Segundo os autores, o plantio

comercial da espécie é indicado para todo o Estado de Santa Catarina em altitudes inferiores a 1.000 metros, especialmente acima dos 500 metros, onde o inverno é fator limitante a outras espécies do gênero (EMBRAPA, 1986).

2.2 Espaçamento de plantio

O espaçamento de plantio constitui uma das principais práticas de manejo florestal que afetam a formação das florestas, os tratos culturais, a qualidade da madeira, sua extração e, conseqüentemente, os custos de produção (SIMÕES et al., 1980). Por isso, é de grande importância para o desenvolvimento das árvores sob os aspectos tecnológicos, silviculturais e econômicos.

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 as espécies, as quais apresentam diferentes comportamentos dependendo do local e do objetivo de produção, ou seja, o uso futuro da madeira a ser produzida (TONINI, 2003), bem como o manejo destinado à área.

Em sítios de baixa fertilidade, deve-se considerar que, mesmo havendo boa disponibilidade de água e outros fatores de produção, a capacidade de suporte desse sítio será menor devendo-se utilizar espaçamentos maiores (TONINI, 2003).

Para facilitar a seleção de adequados espaçamentos iniciais para plantios florestais é necessária melhor compreensão sobre os efeitos da qualidade do sítio e do espaçamento de plantio na dinâmica da floresta (HARRINGTON; HARRINGTON; DEBELL, 2009). Após alguns anos de crescimento da floresta, as plantas entram em competição por água, luz e nutrientes. Portanto, é esperado que os fatores climáticos, edáficos e fisiográficos do sítio devam ter suas influências na escolha do espaçamento (BALLONI; SIMÕES, 1980). Nesse sentido, os locais mais secos e/ou com solos de mais baixa fertilidade tendem a suportar um número menor de plantas por área do que locais mais úmidos e férteis (BALLONI; SIMÕES, 1980).

2.3 Qualidade do solo

As definições de qualidade do solo têm sido relacionadas à capacidade do solo em exercer várias funções dentro dos limites do ecossistema, tendo em vista a sustentabilidade e a produtividade biológica, a manutenção da qualidade da água e do ar e a contribuição para a saúde humana, de plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994). Outros conceitos utilizados para definir o termo qualidade do solo referem-se à capacidade do solo em garantir a sua função ecológica de acordo com um determinado uso (DORAN; PARKIN, 1994; NOVÁK; VOPRAVIL; LAGOVÁ, 2010). Portanto, a qualidade do solo irá depender de funções determinadas pela utilização humana, ou seja, relacionadas às práticas de uso e manejo empregadas, as quais podem ser de caráter agrícola ou florestal (NOVÁK; VOPRAVIL; LAGOVÁ, 2010).

Quando os solos são submetidos ao cultivo, tendem a um novo estado de equilíbrio, com isso, passam a refletir em diferentes manifestações de seus atributos, as quais podem ser desfavoráveis à conservação da capacidade produtiva (GOMES, 2011). Nesse sentido, é importante o entendimento das condições dos atributos do solo que refletem a qualidade do mesmo.

Segundo Doran; Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de algumas propriedades físicas, químicas ou biológicas que possibilitem o monitoramento de mudanças no solo a médio e longo prazo. Dessa forma, a multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço, tornam a avaliação da qualidade bastante complexa (MELLONI et al., 2008).

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, bem como, proporcionar as trocas de calor e de gases com a atmosfera e as raízes e possibilitar o crescimento radicular (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). As propriedades químicas do solo são aquelas que indicam os processos de comportamento do solo, como a disponibilidade de nutrientes no solo, as necessidades nutricionais das plantas e a contaminação ou poluição (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A qualidade dos solos florestais pode ser avaliada de diferentes maneiras, uma delas é através do monitoramento antes da instalação do povoamento florestal e no final do ciclo de rotação (BARROS; COMMERFORD, 2000). Também, de acordo com os autores, podem-se utilizar níveis referenciais das propriedades do solo de florestas naturais comparadas com as de plantios florestais em diferentes sistemas de manejo. Para esse caso, considera-se que as propriedades do solo nos ecossistemas naturais não manejados são os níveis referenciais. No entanto, para se utilizar este tipo de metodologia é necessário assegurar-se de que as características do material de origem e a classe textural do solo sejam semelhantes entre os ecossistemas avaliados.

Dessa forma, a qualidade do solo deve ser avaliada de acordo com funções específicas no solo, e pode estar relacionada com o crescimento da vegetação desempenhado sob determinadas condições. Nesse sentido, a remoção da vegetação natural geralmente causa grandes alterações edáficas, mas, em longo prazo, o que irá determinar as condições físicas, químicas e biológicas do solo serão a forma e o grau de perturbação antrópica, ou seja, o manejo realizado na área (GONÇALVES, 2002).

A produção de florestas ou mesmo agrícola causam processos de degradação ao solo, em especial pelo uso de práticas inadequadas que influenciam o ciclo energético e biogeoquímico dos ecossistemas na estruturação do solo e no crescimento das plantas. A estrutura tem reflexo na retenção de água, desenvolvimento radicular, atividade biológica e resistência à erosão (SIQUEIRA et al., 1991). No entanto, ressalva-se que a cobertura florestal sobre um solo pode causar mudanças nas suas propriedades, através do grau de proteção oferecido contra a erosão, capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água, nutrientes e quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida, que é gradualmente incorporada, e aumenta o estoque de carbono orgânico (BRUN, 2008). Desse modo, avaliações no sentido de medir as condições de espaço poroso, que consideram o fluxo de água e ar do solo, bem como a manutenção da matéria orgânica são fundamentais quando se espera a sustentabilidade de ecossistemas florestais.

2.4 Propriedades físicas do solo

Os atributos físicos do solo merecem grande 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).

Atributos físicos do solo como a densidade, a porosidade, a taxa de infiltração de água e a resistência à penetração têm sido utilizados na avaliação da estruturação do solo em áreas agrícolas (FLORES et al., 2007).

A textura do solo é uma propriedade relacionada com a proporção de tamanho das partículas minerais do solo. A textura constitui-se no fator mais importante do solo, pois essa característica não pode ser modificada e determina o valor econômico de um solo (GAVANDE, 1976). A textura 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). O conhecimento da classe textural de um solo é importante, pois as demais propriedades físicas e químicas do solo são influenciadas pelo tamanho das suas partículas. Nesse sentido, as práticas de manejo utilizadas dependerão dessa propriedade.

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas unitárias de areia, silte e argila em partículas compostas ou agregados, os quais apresentam características específicas (JORGE, 1985). Dessa forma, o arranjo e organização dessas partículas é muito variável e permite as combinações das diferentes formas, tamanhos e orientações (DEDECEK, 2008).

A estrutura pode influenciar no crescimento das árvores através da capacidade de infiltração de água e aeração do solo e predisposição à penetração das raízes (WILDE, 1958). Ou seja, a estrutura não afeta diretamente o crescimento e a produção das plantas, e sim a disponibilidade de água e nutrientes e aeração do sistema radicular e com isso, passa a ser um fator limitante da produção (GAVANDE, 1976).

A densidade do solo pode ser definida como a relação existente entre a massa de uma amostra de solo, seca a 110° C, e sua unidade de volume ocupado

pelas partículas e pelos poros (KIEHL, 1979; BRADY, 1989), de modo que os solos com elevada proporção de espaços porosos em relação aos sólidos, como os de textura fina e franco-siltosos, terão densidades menores (BRADY, 1989). Entretanto, não é possível fazer comparações de densidade entre os diferentes tipos de solo. De forma geral, a faixa de densidade para os solos minerais é estabelecida entre os valores de 1,10 e 1,60 Mg m⁻³ (KIEHL, 1979), mas em solos florestais tais valores podem variar de 0,20 Mg m⁻³, em camadas orgânicas, até 1,90 Mg m⁻³, em solos arenosos (PRITCHETT; FISHER, 1987).

O grau de desenvolvimento estrutural do solo se relaciona com a sua porosidade e, conseguinte, com as propriedades que regulam as trocas gasosas entre a atmosfera e o solo e os processos de transferência de água e nutrientes para as raízes das plantas que são, a capacidade de drenagem, a aeração e a capilaridade (GONÇALVES, 2002). Dessa forma, a qualidade estrutural é fundamental para a manutenção da produtividade florestal, bem como a redução de perdas de solo e de nutrientes devido a processos erosivos que atuam de forma mais intensa em solos com menor estruturação.

A densidade do solo é eficiente como indicador da sua qualidade estrutural em áreas com plantios florestais. Nesse sentido, Liu et al. (2002) encontraram reduções da densidade com o florestamento (aproximadamente 15 anos), com isso evidencia que em longo prazo ocorrem efeitos benéficos a partir da interação da cobertura florestal com esta propriedade do solo.

Ao comparar floresta nativa e povoamento de *Pinus taeda* aos 21 anos de idade, em Cambissolo Háplico, Dalben e Osaki (2008) observaram maior densidade no ecossistema floresta nativa, nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. A este resultado se atribui o efeito da maior espessura de serapilheira presente na área com povoamento de pínus. Por outro lado, em estudo comparativo entre lavoura sob plantio convencional, mata nativa, campo nativo e reflorestamento com *Pinus elliottii*, em Cambissolo Húmico, foi constatado que os diferentes usos não afetaram a densidade na profundidade de 15 a 20 cm, isso indica que a influência do sistema radicular sobre a matéria orgânica é expressiva apenas na camada mais superficial do solo (BERTOL; SANTOS, 1995).

Em estudo realizado em áreas de *Pinus taeda*, em primeira e segunda rotação comparadas com campo nativo, verificou-se que a densidade do solo não diferiu significativamente entre as áreas analisadas (ABRÃO, 2011). Dessa forma, os

povoamentos de pínus não promoveram alterações na densidade. Com isso, considera-se, por meio dessa propriedade, a manutenção da qualidade estrutural do solo em áreas florestadas. Evidências de menor densidade do solo em sistemas com pouca ou nenhuma intervenção, boa cobertura vegetal e entrada de carbono e com presença de serapilheira foram também relatadas por Portugal et al. (2008). Os autores verificaram que a densidade foi menor em solos de mata natural e seringueira, na profundidade de 0 a 20 cm, quando comparadas aos sistemas cultivo de laranja, pastagem e cana-de-açúcar. Nesse caso observa-se compactação e/ou adensamento do solo em áreas de cultivo com mais intervenção que os sistemas florestais.

Portanto, aumentos da densidade podem ocorrer devido à não mobilização do solo, pois o não revolvimento promove uma acomodação da camada superficial, que conjuntamente com o tráfego de máquinas, aumenta a densidade (CAVENAGE et al., 1999). Nesse sentido, observa-se que em áreas de plantios florestais, deve ser considerado o tempo do ciclo de corte, pois longos períodos permitem o acúmulo de matéria orgânica e consequente, redução da densidade do solo. Além disso, o desenvolvimento do sistema radicular das árvores favorece o aumento de bioporos, o que também reduz a densidade. Logo, o reflorestamento não aumenta a densidade do solo, mas sim as práticas de manejo adotadas, visto que a atividade requer o tráfego de máquinas pesadas e, por vezes, utilizadas em umidades do solo inadequadas.

Diante do exposto, a avaliação da densidade é importante para demonstrar a manutenção da qualidade estrutural do solo. Porém, cabe ressaltar que, embora a densidade de alguns solos seja baixa, é possível que eles tenham maior porosidade dominada por poros de diâmetros menores, o que pode reduzir os fluxos da água e do ar no solo. Portanto, a densidade do solo é uma variável que permite apenas avaliar a estrutura de forma qualitativa, visto que a mesma não indica o tamanho e a continuidade dos poros que determinam o fluxo do ar e da água no perfil (DEDECEK, 2008). Nesse caso, é importante a avaliação conjunta da distribuição dos tamanhos dos poros do solo e medir os fluxos de água.

A porosidade é uma propriedade importante que deve ser considerada na avaliação da qualidade estrutural do solo (MARTINS et al., 2002), porque se refere ao volume de solo não ocupado por partículas sólidas (KIEHL, 1979; PRITCHETT; FISHER, 1987). Dessa forma é responsável pelo armazenamento e transporte da

água e do ar no solo (BELLOTE; DEDECEK, 2006). Logo, interfere no aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas (RIBEIRO et al., 2007). Nesse sentido, essas funções não dependem somente da porosidade total, mas também de como o espaço poroso é distribuído por tamanho, ou seja, a quantidade de macro e microporos que constituem a estrutura do solo (PREVEDELLO, 1996).

Junto com a densidade do solo, a porosidade é um parâmetro relacionado às alterações no volume de solo. Geralmente quando acontece a redução da porosidade, esta ocorre primeiro nos poros maiores que 50 μm (macroporos), responsáveis pela infiltração de água e aeração (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), sendo, portanto, fundamental a quantificação da porosidade para avaliar a qualidade estrutural do solo, principalmente após alterações no uso do mesmo.

Diante do exposto, Bertol et al. (2001) corroboram ao afirmar que o solo submetido ao processo produtivo tende a perder sua estrutura original, o que normalmente está associado às reduções na porosidade total e macroporos e aumentos de microporos e densidade do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). A exemplo disso, Rigatto, Dedeczek e Mattos (2005), analisaram os efeitos dos atributos do solo sobre a produtividade do *Pinus taeda*, e associaram a maior porosidade total, na camada de 0 a 10 cm, aos menores valores de densidade do solo. Os mesmos autores verificaram, ainda, aumentos nas quantidades de macroporos e nos teores de material orgânico.

Ao estudar as alterações nas propriedades físicas de um Latossolo sob diferentes culturas e sua capacidade de recuperação, foi observado que os diferentes usos do solo alteram os atributos físicos em relação à vegetação natural de cerrado (CAVENAGE et al., 1999). Nesse estudo, a mata ciliar e o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentaram macroporos mais próximos das condições típicas do solo, sendo atribuído ao resultado o fato de as espécies florestais interagirem, a longo prazo, com o ambiente edáfico. Os autores ressaltaram a importância da cobertura florestal, que promove diferentes efeitos na restauração das condições originais do solo, uma vez que as espécies diferem quanto à dinâmica do sistema radicular, às características da serapilheira, às atividades biológicas no solo e à interceptação da luz, entre outros.

A estrutura do solo também pode ser avaliada por meio da agregação, que corresponde a capacidade de manter a estrutura do solo estável, ou seja, a força de

ligação entre as partículas do mesmo. A agregação do solo é uma propriedade correlacionada com a matéria orgânica, tendo sido utilizada em avaliações dos sistemas de manejo. Os agregados são considerados unidades complexas em que todos os componentes do solo estabelecem íntimas relações estruturais e funcionais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A estabilidade de agregados, expressa pela distribuição de tamanho de agregados, pode ser utilizada para se avaliar a qualidade estrutural do solo (KIEHL, 1979), uma vez que a estabilidade da estrutura está relacionada à resistência que os agregados do solo apresentam à influência desagregante da água e forças mecânicas (GAVANDE, 1976).

A formação dos agregados do solo segue uma hierarquia, ou seja, a formação ocorre em diferentes unidades estruturais, dos quais, na menor escala se formam aglomerados de partículas de argila que interagem com óxidos de ferro ou alumínio e polímeros orgânicos. No entanto as unidades maiores, chamadas de submicroagregados são constituídas por partículas de silte cobertas com matéria orgânica e resíduos de plantas e microorganismos. Os microagregados consistem, principalmente, de partículas de areia fina e pequenos aglomerados de silte, argila e substâncias orgânicas unidas por pêlos radiculares, hifas de fungos e substâncias produzidas por microrganismos. Porém, os macroagregados são compostos por muitos microagregados, unidos por uma rede de hifas de fungos e raízes (TISDALL; OADES, 1982). A formação de um agregado, segundo Bochner et al. (2008), pode ocorrer de duas formas: através da aproximação das partículas unitárias ou através da manutenção e/ou estabilização dessa aproximação. A primeira ocorre devido às variações do conteúdo de água no solo, favorecida pelos ciclos de umedecimento e secagem, por meio da ação das raízes vegetais, de hifas de fungos ou pela atração eletrostática das partículas do solo. A consolidação dessa aproximação pode ser feita pela ação de agentes cimentantes, sendo os principais as substâncias húmicas, as argilas silicatadas e os óxidos de ferro e alumínio.

A agregação do solo trata-se de uma propriedade física fortemente influenciada pela textura, sendo que, em solos arenosos, há pouca ou nenhuma agregação das partículas, enquanto que, em solos argilosos, a argila constitui um agente agregante e promove uma melhor estruturação do solo. Dessa forma, em solos de textura mais grosseira (pobres em argila) a ocorrência de agregados misturados a partículas primárias está mais correlacionada à presença de matéria

orgânica, a qual é eficiente na formação de agregados estáveis nesse tipo de solo (GONÇALVES, 2002). Em solos com cobertura vegetal, os macroagregados são ainda favorecidos com a estabilização promovida pelas raízes das plantas e hifas de fungos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os efeitos das plantas sobre a estabilidade dos agregados podem ser diretos ou indiretos. Isso ocorre devido a ação de proteção dos agregados superficiais, aporte de matéria orgânica na superfície ou internamente ao solo, e ação do sistema radicular (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Nesse sentido, o sistema radicular auxilia na formação e estabilização dos agregados através do crescimento das raízes, as quais promovem a compressão de partículas primárias de agregados, a absorção de água que causa desidratação e gera movimentos de contração, além da adição de matéria orgânica ao solo por exsudação, ciclagem e descamação das células radiculares (GONÇALVES, 2002).

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 (LIMA, 1996). Segundo o autor, os plantios com eucalipto promovem uma maior macroagregação do solo em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais. Dessa forma, deve-se considerar o período sem haver mobilização no solo, em geral longo em áreas com atividade florestal, bem como a manutenção da serapilheira na superfície do solo.

Ao comparar povoamentos florestais com a mata nativa, a mata apresentou os maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados estáveis em água, o que evidencia maior grau de estruturação do solo. Esse efeito foi condicionado pela maior presença de raízes que liberam exsudatos e elevam os teores de material orgânico, através da ciclagem bioquímica, o que contribui para a estabilização de agregados (MARTINS et al., 2002). Além disso, os autores ressaltam a ampla diversidade arbórea, responsável por formar uma camada de serapilheira mais rica em nutrientes, o que aumenta a atividade dos organismos no solo; pois a própria matéria orgânica advinda da serapilheira serve como fonte de energia para os microorganismos atuarem na agregação do solo.

Dessa maneira, mudanças no uso do solo, variações na atividade e natureza de microorganismos, ação do sistema radicular (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003) e a própria qualidade do material orgânico depositado podem alterar de forma

permanente ou temporária as condições de agregação do solo e, por conseguinte, a estabilidade dos agregados (BOCHNER et al., 2008; WOHLLENBERG et al., 2004).

2.5 Propriedades químicas do solo

A implantação de florestas homogêneas pode promover alterações nas propriedades químicas do solo em função do tempo de cultivo, através da redução das bases trocáveis, o que pode reduzir a sua fertilidade (LEPSCH, 1980). Isso ocorre de forma mais intensiva nos solos utilizados para o cultivo florestal, que, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural. Nesse sentido, ressalva-se que rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido um dos principais fatores responsáveis pelo exaurimento do solo, através da exportação de nutrientes proporcionada pela colheita florestal, considerada uma preocupação na manutenção da produtividade dos sítios (FERREIRA et al., 2001).

A produção de biomassa pode variar intensamente conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal, que influenciam na fotossíntese, no particionamento do carbono, na produção de folhas, respiração, entre outros (RYAN et al., 2010). Segundo Viera (2012) um ecossistema de uma plantação está sujeito a constantes movimentações de entradas e saídas de nutrientes. Dentre as inúmeras formas de perda de nutrientes do ecossistema, estão como principais a erosão e a exportação dos nutrientes pela extração dos produtos da floresta, como mencionado anteriormente. A perda por exportação pode ser estimada pela avaliação dos teores de nutrientes contidos nos diferentes compartimentos e da biomassa total de cada compartimento removido do sítio florestal. Na Tabela 1 está representado o teor de nutrientes em diferentes compartimentos de eucalipto.

A intensificação do manejo florestal e o aumento das plantações florestais, em especial de espécies exóticas, têm servido para focalizar a importância das propriedades químicas do solo no crescimento das árvores (PRITCHETT; FISHER, 1987). Há algum tempo atrás não se dava a devida importância para a condição química do solo sob cultivo florestal. Com isso, o processo que mais altera a condição química do solo é a exploração florestal, cuja alteração ocorre através da

remoção de nutrientes do ecossistema. Essa quantidade de nutrientes removidos depende de uma série de fatores, como espécie, qualidade do local, componente explorado, densidade de plantio e idade de corte (MÜLLER; COUTO; NEVES, 2005).

Tabela 1 – Teores de nutrientes (g kg⁻¹) nos compartimentos da biomassa de *Eucalyptus* spp.

Compartimentos	N	P	K	Ca	Mg
Folha	24,16	1,45	10,08	8,00	2,43
Galho vivo	4,37	0,57	4,97	10,80	1,68
Casca	4,57	0,53	5,77	22,21	3,30
Madeira	2,09	0,25	2,60	1,43	0,49

Fonte: Lúcio et al. (2010).

A eficiência na utilização de nutrientes pelas espécies é variável ao longo do ciclo de rotação, pois os teores e a distribuição dos nutrientes no solo variam durante o ciclo de crescimento das árvores (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1986), de forma que a exigência nutricional diminui com a idade para os nutrientes de maior mobilidade, enquanto que para os de baixa mobilidade ou imóveis o requerimento aumenta com a idade (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000). Em virtude disso, os estágios nutricionais das árvores podem ser divididos em dois períodos: o antes e o depois do fechamento das copas (GONÇALVES et al., 2000). Dessa forma, Leite et al. (2011) relatam três diferentes fases de demanda, armazenamento e distribuição de nutrientes nas árvores, sendo que na fase inicial de desenvolvimento da planta ocorre maior alocação de nutrientes na copa das árvores, em especial para a formação da biomassa foliar, nessa fase há elevada demanda de absorção de nutrientes. A segunda etapa coincide com o fechamento das copas, em que a biomassa foliar é estável ou em ligeira diminuição, sendo a madeira o órgão que requer a maior parte da produção, nesta fase ocorre a máxima exploração do solo pelas raízes finas e os processos de ciclagem são muito intensos. O terceiro estágio corresponde à fase de crescimento da árvore, em que a demanda por nutrientes é mais baixa, pois ocorre a manutenção dos nutrientes na biomassa já produzida.

Além da idade das árvores, a densidade de plantio também interfere na qualidade química do solo, sendo que, em espaçamentos mais fechados atinge-se a idade da colheita mais cedo do que em espaçamentos mais abertos, e isso faz com que ao longo de um período de tempo o solo sofra mais distúrbios causados pelas intervenções de manejo e de colheita florestal (BARROS; COMMERFORD, 2000). Além disso, segundo os autores, com o uso de espaçamentos menores, ocorre o encurtamento das rotações devido à baixa taxa de conversão de nutrientes em biomassa, e com isso, maior quantidade de nutrientes é removida do sítio, o que reduz o tempo para que ocorra a exaustão de nutrientes do solo e a perda de produtividade do sítio florestal.

Contudo, há uma interrelação entre a densidade e a idade do povoamento na demanda nutricional, de forma que, em plantações de eucalipto com os espaçamentos normalmente utilizados (3x2 m), a fase de maior demanda das plantas por nutrientes minerais ocorre entre os 6 e 48 meses após o plantio, nesse período, cerca de 80% dos nutrientes acumulados na biomassa até o final da rotação já terão sido absorvidos do solo (BELLOTE et al., 1980). Com a adoção de espaçamentos mais adensados, a demanda por nutrientes é antecipada, pois a capacidade máxima do sítio é atingida em idades mais jovens do povoamento (BARROS; COMMERFORD, 2000). O aumento da densidade, geralmente, promove uma maior produção de biomassa na fase inicial, e com isso, ocorre a exportação de uma maior quantidade de nutrientes do sistema (LEITE, 2001).

A atividade silvicultural desenvolve-se, principalmente, em solos limitantes ao uso pelas culturas agrícolas. Com isso, nos plantios em ambientes com solos de baixa fertilidade e limitação hídrica, o potencial de comprometimento da sustentabilidade da produtividade florestal é maximizado comparado a outros solos. Esse comprometimento ocorre quanto ao grau de intensidade da atividade de exportação de nutrientes e dos danos ambientais causados à esse local (GONÇALVES et al., 2000).

Espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, podem levar à acidificação do solo devido à rápida acumulação de bases na biomassa das árvores (YAMASHITA; OHTA; HARDJONO, 2008). O efeito sobre a acidez do solo varia amplamente de acordo com a espécie e constitui grande importância na determinação do tipo e 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 serapilheira destas.

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

A maior acidez no solo com florestas plantadas em relação à floresta natural foram observadas por Smal e Olszewska (2008), os quais ressaltam que a acidificação de solo florestado é comum e já foi observado por diversos autores. Corroborando com esta afirmação, em estudo realizado por Leite (2001) observou-se redução no pH do solo, no teor de MO e de nutrientes como o P, K, Ca e Mg no período entre 2,5 e 4,5 anos de idade do povoamento. Em estudo avaliando o impacto de *Acacia auriculiformis* na fertilidade de solos arenosos no Congo observou-se uma redução no pH do solo (KASONGO et al., 2009). Essa redução de pH ocorreu ao longo do tempo e foi atribuída à decomposição da serapilheira. Rhoades e Binkley (1996) corroboram com evidências de redução do pH do solo, ao constatarem redução desta propriedade em povoamentos de *Eucalyptus saligna* após oito anos de cultivo no Hawaii.

Além dos efeitos do cultivo florestal na redução do pH do solo, o pH interfere no crescimento de espécies florestais, sendo este efeito variável de acordo com a espécie, já que algumas espécies respondem positivamente à diminuição do pH e outras negativamente. No entanto, a maioria das espécies florestais são bem adaptadas à acidez do solo e crescem melhor sob acidez média (PRITCHETT; FISHER, 1987).

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.

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 pela decomposição da serapilheira, liberando nutrientes do material vegetal depositado na superfície do solo, por meio da

decomposição microbiana (VEZZANI; TEDESCO; BARROS, 2001). Segundo os autores, 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.

Em estudo realizado por Silva et al. (2007), com o objetivo de verificar mudanças nas características químicas de um solo com diferentes coberturas vegetais, na região pastoril de Itapetinga (MG), numa sequência floresta – capoeira - pasto, observou-se diferença significativa nos teores de potássio, cálcio e magnésio do solo, com relação ao tipo de vegetação, de forma que os maiores teores foram observados na mata, seguidos da capoeira e do pasto. De acordo com os autores estes resultados ocorreram, provavelmente, devido à intensa lixiviação em solos dos ecossistemas tropicais.

Alterações nas propriedades químicas do solo em cinco locais de plantio de eucalipto, na região do Vale do Rio Doce (MG), foram reportadas por Leite et al. (2010), os quais observaram diminuição nos nutrientes K, Ca e Mg trocáveis em solos sob eucalipto em comparação com aqueles com pastagens, sendo que as reduções de Ca e Mg foram maiores do que de K. No entanto, os autores observaram que a concentração de P disponível aumentou nas áreas de eucalipto, devido à fertilização, com saldo positivo de importação e exportação. Maiores teores de P total em solo sob florestas jovens em relação a florestas mais antigas também foram reportados por Smal e Olszewska (2008). Tal eficiência na distribuição de P ocorre, pois 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 de nutrientes (FONSECA et al., 1993).

Conforme já exposto, em florestas de eucalipto, há uma elevada demanda de nutrientes até a formação da copa, principalmente nitrogênio, sendo todo nutriente absorvido do solo (VEZZANI; TEDESCO; BARROS, 2001).

Diferentes formas de uso do solo e sistemas de manejo utilizados também possuem grande relação com a matéria orgânica e o carbono orgânico. A matéria orgânica é originada pelas plantas e microorganismos que habitam o solo, sendo a vegetação a principal fonte, que pode se dar pela deposição de material (ramos e folhas) ou contribuição das raízes. Os solos sob uso florestal normalmente possuem maior conteúdo de matéria orgânica que os solos agrícolas, devido à maior

deposição de material e menor taxa de mineralização da matéria orgânica na floresta (MIRANDA, 2005).

A matéria orgânica atua na melhoria das condições físicas e, também, nas propriedades químicas e físico-químicas, através do fornecimento de nutrientes às plantas e da maior capacidade de troca catiônica (CTC), além de proporcionar um ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota (FIGUEIREDO; RAMOS; TOSTES, 2008).

Maiores teores de matéria orgânica foram observadas em áreas cultivadas com eucalipto quando comparados a áreas de pastagem, sendo este resultado atribuído ao maior conteúdo de resíduos produzidos pela floresta (LEITE et al., 2010).

Fonseca et al. (1993) observaram que o teor de C foi maior no solo sob *Eucalyptus paniculata* em relação à pastagem em todas as camadas de solo. Alvarenga, Siqueira e Davide (1999) observaram teores de carbono total maiores nas amostras de solo de cerrado natural e pasto nativo, enquanto que os menores teores 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.

2.6 Crescimento e produção florestal

O crescimento e a produção florestal são influenciados por diversos fatores, dentre os quais se consideram o sítio (disponibilidade de água, nutrientes, radiação, entre outros) e o clima (INOUE; FIGUEIREDO FILHO; LIMA, 2011). Além disso, os autores ressaltam que o espaço vital requerido por uma árvore num povoamento é de extrema importância, principalmente na fase do crescimento da floresta.

A velocidade de crescimento das plantas é fortemente influenciada pela área disponível, portanto, é afetada pelo estágio de desenvolvimento de uma floresta que está sempre condicionada à idade, qualidade do sítio, espécie, densidade, e à unidade de medição em que é expresso (TONINI, 2003).

A densidade do povoamento relaciona-se com o espaço vital, o qual afeta as variáveis dendrométricas das árvores e, conseqüentemente, do povoamento (INOUE; FIGUEIREDO FILHO; LIMA, 2011). Nesse sentido, segundo os autores, as informações sobre o comportamento de tais variáveis são de grande utilidade estratégica, a curto e médio prazo, para a tomada de decisões de ordem silvicultural no momento da implantação de novas áreas de plantios florestais.

Dessa forma, os estudos sobre espaçamento inicial geralmente têm focado o crescimento em altura, diâmetro e volume do sítio (PINKARD; NEILSEN, 2003). Em média, segundo preceitos teóricos silviculturais, o espaçamento tem uma influência maior no desenvolvimento do DAP do que no desenvolvimento em altura das árvores (BALLONI; SIMÕES, 1980), em que os menores espaçamentos resultam em menor diâmetro e menor porcentagem de sobrevivência (TONINI, 2003).

Obtenções de dados de sobrevivência das plantas também são muito importantes ao se avaliar um povoamento florestal, de forma que interfere diretamente nos custos de instalação de um empreendimento. A sobrevivência das plantas de um povoamento é influenciada, principalmente, pelo método e intensidade do preparo do solo, pelo clima no momento do plantio e meses seguintes, além dos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo e o grau de exposição do solo (SCHNEIDER, 1993).

Resultados de pesquisas já desenvolvidas afirmam que, com o aumento do número de árvores por área, se espera um aumento da mortalidade pela maior porcentagem de árvores dominadas e mortas que ocorrem em espaçamentos menores (TONINI, 2003). Além disso, a alta competição entre árvores por nutrientes, água e luz em espaçamentos muito densos intensifica essa relação entre árvores dominadas e dominantes, o que ocasiona grande mortalidade de árvores no momento e após o fechamento das copas.

Evidências de maior mortalidade acumulada com o uso de espaçamentos mais densos foi constatado em estudo realizado por Harrington, Harrington e Debell (2009) sobre o efeito do espaçamento de plantio e da qualidade do sítio no crescimento e mortalidade de *Pseudotsuga menziesii*. Em contrapartida, em estudo realizado com *Eucalyptus grandis* até a idade dos dois anos, o espaçamento não afetou significativamente os diâmetros e a porcentagem de sobrevivência, enquanto que as alturas e os volumes foram significativamente afetados (REZENDE et al., 1981).

Dentre as principais variáveis utilizadas na avaliação do crescimento das árvores em povoamentos florestais utilizam-se a altura e o diâmetro à altura do peito, as quais são variáveis de fácil mensuração que promovem uma boa estimativa das condições do povoamento. Nesse sentido, o diâmetro médio é um parâmetro altamente correlacionado com o espaçamento (TONINI, 2003), em que os espaçamentos mais adensados produzem uma grande quantidade de árvores finas. A altura média das plantas é variável, em geral, a diminuição do espaçamento proporciona, para muitas espécies, um aumento no número de árvores dominadas, as quais contribuem efetivamente para diminuição da altura média do povoamento (BALLONI; SIMÕES, 1980). No entanto, há resultados opostos a esta afirmação, em que a variação no comportamento da variável altura de acordo com distintas situações. Nesse sentido, maiores alturas em espaçamentos menores foram relatadas por Kruschewsky et al. (2007) ao avaliar o comportamento silvicultural e produtivo *Eucalyptus spp.* aos 18 meses de idade, sob quatro diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril, no cerrado de Minas Gerais. Em outros casos, a altura média das plantas aumenta com o espaçamento (OLIVEIRA NETO et al., 2010). Um exemplo disso é o estudo de Balloni (1983), ao avaliar *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos de plantio, aos 74 meses de idade, observou tendência de diminuição da altura média das árvores com a redução do espaçamento.

Em um trabalho desenvolvido com diferentes espécies de eucalipto em diferentes espaçamentos, constatou-se o efeito significativo do espaçamento no desenvolvimento em altura, no qual observou-se uma altura média de 16,83 m no espaçamento de 3x2 m e de 15,61 m no de 3,0x1,5 m, aos cinco anos de idade (MELLO et al., 1971). Segundo os autores, o crescimento em altura é função da qualidade do solo, como o solo do local era pobre e a adubação foi pequena, a maior concentração de árvores no espaçamento de 3,0x1,5 m levou a uma menor disponibilidade de nutrientes para as árvores com reflexos no seu crescimento.

Em estudo que avaliou o crescimento de *Eucalyptus saligna* aos três anos de idade, observou-se que os maiores diâmetros foram obtidos para os tratamentos com maior espaçamento, já a altura foi maior para o espaçamento intermediário, sendo que a menor altura foi obtida no menor espaçamento (BERGER, 2000).

Além da densidade de plantio, como já mencionado, há outros fatores de produção que interferem no crescimento e produtividade dos povoamentos florestais, dentre os quais as condições do solo destacam-se.

O solo é um dos principais determinantes do crescimento das plantas (RIGATO et al., 2005), sendo que a produção de uma cultura pode ser limitada pela disponibilidade de água para as plantas, a qual é afetada pela capacidade de retenção de água do solo (COELHO; VERLENGIA, 1973). Além disso, a falta de aeração do solo, como em solos muito compactados ou saturados, prejudica o crescimento das raízes pela falta de oxigênio para a respiração das mesmas ou pelo dano devido à acumulação de substâncias tóxicas e diminui o desenvolvimento das plantas (MELLO et al., 1983).

Em um estudo sobre a biomassa e o conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* com nove anos em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete, Freitas (2000) observou um diâmetro médio das árvores de 16,3 cm, altura média de 22,3 m e volume de 166 m³/ha. Segundo o autor, o *Eucalyptus grandis*, assim como o *Eucalyptus saligna*, possuem potencial para o desenvolvimento em solos de baixa fertilidade, comprovado através de estudos realizados na Austrália com várias espécies de *Eucalyptus*.

De acordo com o exposto, evidencia-se a importância das condições do sítio florestal na escolha do espaçamento de plantio, relacionando-o com a produtividade e destino futuro da madeira produzida.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Para a realização do estudo instalou-se um experimento no município de São Francisco de Assis (RS). A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 29°39'09,21"S e 55°10'45,10"O e pertence à empresa StoraEnso Florestal RS.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961), é do tipo Cfa e, em conformidade com a classificação climática proposta por Maluf (2000), o clima é subtemperado úmido, em que os verões podem apresentar período de seca, com temperatura média anual de 18,6°C e precipitação média anual de 1574 mm. A temperatura do mês mais quente é superior a 23°C e a do mês mais frio situa-se entre -3 e 18°C (MORENO, 1961).

O solo da área estudada é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico. São solos profundos a muito profundos com gradiente textural, ocorrem em relevo suave ondulado a forte ondulado, com baixa fertilidade natural e elevada acidez (STRECK et al., 2008). Os dados de granulometria e de densidade de partículas do solo podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização granulométrica de densidade de partículas das camadas do Argissolo Vermelho Distrófico na área de estudo em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

Camada (m)	AT (%)	AG (%)	AF (%)	Silte (%)	Arg. (%)	Classe Textural	Dens. Partículas
0,00-0,10	85	25	60	9	6	Areia	2,59
0,10-0,20	80	23	57	10	10	Areia Franca	2,60
0,20-0,40	77	22	55	11	12	Areia Franca	2,61
0,40-0,60	76	19	57	12	12	Areia Franca	2,59
0,60-1,00	76	20	56	12	12	Areia Franca	2,60

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

A vegetação natural da região de estudo é classificada como campo. Segundo Marchiori (2004), a palavra campo designa o tipo vegetacional correspondente a áreas desprovidas de mata. 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 (PORTO, 1990). Além de características edáficas, a pressão de 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 associadas a acidentes geográficos, em locais mais protegidos da incidência dos ventos.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

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 (Figura 1), com respectivamente, 816, 1632, 3265 e 6568 árvores por hectare. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas com dimensão de 35x35 m (1 225 m²).

A área de instalação do experimento estava ocupada com campo nativo submetido ao pastejo bovino e não havia sinais de erosão e degradação do solo. Na Figura 2 observa-se a imagem de localização da área experimental na fazenda antes da implantação florestal.

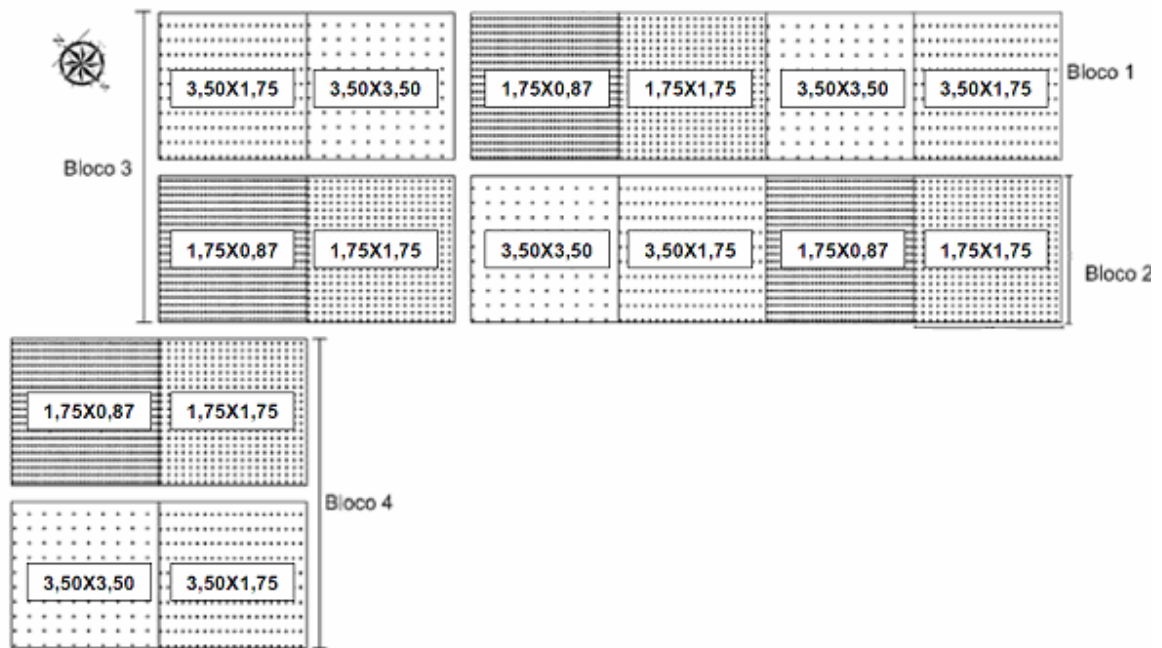


Figura 1 – Croqui da área experimental em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Os números sobre as parcelas representam os diferentes espaçamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden.



Figura 2 – Localização da fazenda com a área experimental no município de São Francisco de Assis, RS, Brasil. Fonte: Google Earth, 2013.

As operações de implantação foram realizadas através de aplicação de herbicida em área total para supressão do campo nativo, controle de formigas, preparo do solo por meio de subsolagem na linha de plantio, com revolvimento do solo até 30 cm de profundidade e aplicação de 200 kg ha⁻¹ de hiperfosfato natural reativo de Gafsa na linha (Figura 3). A formulação do hiperfosfato foi de 29% de P₂O₅ total, 10% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico à 5% e 36% de cálcio. O plantio das mudas foi realizado de forma manual em outubro de 2008, logo após as operações de preparo do solo (Figura 4).



Figura 3 – Preparo do solo com escarificação na linha antes da implantação de *Eucalyptus dunnii* Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

Na condução do experimento foi realizado o controle de formigas, uma adubação de arranque após um mês da implantação, quando foram aplicados 100 g de NPK (6:30:6) por planta, em covetas laterais, distanciadas 15 cm das mudas. Essa fertilização foi efetuada de acordo com o sistema de manejo utilizado pela empresa.



Figura 4 – Implantação manual de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

3.3 Coleta e análise de solo

Foram realizadas avaliações das condições físicas e químicas do solo antes das operações de implantação do povoamento (outubro de 2008) e no decorrer de 24 (outubro de 2010) e 36 meses (outubro de 2011). Antes da primeira coleta foram demarcadas as parcelas experimentais, dessa forma as amostras de solo foram coletadas dentro de cada unidade experimental. Para isso selecionou-se o início da parcela para a abertura das trincheiras, nas demais coletas foram selecionadas locais próximos a estes para reduzir a variabilidade, também sem a presença de árvores mortas ou suprimidas, cujas coletas ocorreram na entrelinha de plantio. Na Figura 5 observa-se a coleta realizada antes do plantio, enquanto que na Figura 5b está representada a coleta após 24 meses.

Coletaram-se amostras indeformadas nas camadas de 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para as determinações das propriedades físicas, as coletas com cilindro metálico foram coletadas no centro das camadas. A coleta das amostras para as propriedades químicas foram feitas em camadas de 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,40 m; 0,40 a 0,60 m e 0,60 a 1,00 m de profundidade.



Figura 5 – Coleta de solo com estrutura preservada antes da implantação (a) e após 24 meses (b) de cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden em São Francisco de Assis, RS, Brasil.

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

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro (Embrapa, 1997), em que as amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros metálicos de 6,0 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura. Após, foram secas em estufa a 105°C, por aproximadamente 48 horas, até peso constante. Posteriormente foram pesadas e calculadas a relação massa/volume.

A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas (1). A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura preservada, nas quais os cilindros metálicos, contendo as amostras, foram submetidos à saturação por 24 horas e posteriormente à tensão de – 6 kPa em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006) (2). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (3).

$$PT = 1 - \frac{Ds}{DP} \quad (1)$$

$$\text{Microporosidade} = \frac{V_a}{V_t} \quad (2)$$

$$\text{Macroporosidade} = PT - \text{Microporosidade} \quad (3)$$

Em que:

PT = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

D_s = densidade do solo (g cm^{-3});

DP = densidade de partículas (g cm^{-3}).

V_a = volume de água retido na amostra à -6 kPa (cm^3);

V_t = volume total da amostra (cm^3).

A distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água foi determinada nas camadas de solo de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. A metodologia utilizada foi o método padrão proposto por Kemper e Chepil (1965). As amostras de solo com estrutura preservada 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 foram pesados, aproximadamente, 25 g e colocados sobre um conjunto de peneiras com malhas de 4,75; 2,0; 1,0 e 0,21 mm. As amostras foram umedecidas por 10 minutos, e depois submetidas ao peneiramento em imersão por mais 10 minutos em aparelho de oscilação vertical Yoder (1936). 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 por 24 horas 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 latas de alumínio, secas em estufa e pesadas novamente.

Calculou-se a porcentagem de agregados obtidos em cada classe de peneira e o diâmetro médio geométrico (DMG) pelas seguintes fórmulas (4, 5):

$$AGRi = \frac{m AGRi}{\sum_{i=1}^n AGRi} \quad (4)$$

$$DMG = Exp \left[\sum_{i=1}^n \frac{(AGRi * Ln(ci))}{\sum_{i=1}^n AGRi} \right] \quad (5)$$

Em que:

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

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

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

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

As propriedades químicas do solo determinadas foram pH em água, Cálcio e Magnésio trocáveis, Fósforo e Potássio disponíveis, Carbono orgânico total e Nitrogênio total.

O Ca e Mg trocável foram extraídos por solução KCl 1 mol l⁻¹, sendo o Ca e Mg medidos através da absorvância em Espectrofotômetro de Absorção Atômica e o Al através de titulação com NaOH 0,0125 mol l⁻¹. O P e K disponíveis foram obtidos pelo extrator de Mehlich 1. O P foi determinado de acordo com a metodologia de Murphy e Riley (1962) e as leituras realizadas em Espectrofotômetro de absorção molecular. O K foi determinado em Fotômetro de Chamas. As determinações químicas seguiram a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). O teor de Nitrogênio e de Carbono total foram determinados por oxidação via seca em Analisador Elementar modelo FlashEA 1112.

3.4 Crescimento e sobrevivência de *Eucalyptus dunnii* Maiden

O crescimento das árvores foi avaliado através de medições dendrométricas da altura total e da circunferência a altura do peito, medida a 1,30 m acima da superfície do solo. Essas avaliações foram realizadas no decorrer de 12, 18, 24, 30,

36 e 42 meses de idade. Em que nas idades de 12, 24 e 36 meses as medições ocorreram em outubro de 2009, 2010, 2011, respectivamente e nas idades 18, 30 e 42 meses em abril de 2010, 2011 e 2012, respectivamente.

Para as medições da circunferência utilizou-se trena métrica e posteriormente se converteu as medidas em diâmetro (DAP) e expressa em centímetros. A altura total (h) aos 12 meses de idade foi medida com o uso de régua telescópica, enquanto nas demais idades, a medição foi realizada com hipsômetro *Vertex*.

As avaliações foram realizadas no centro das unidades experimentais, em que foram medidas as árvores nas seis linhas centrais, sendo excluídas as duas primeiras e as duas últimas árvores contidas em cada linha. As avaliações em altura foram efetuadas em todas as árvores que compunham a área útil da parcela aos 12 meses, enquanto que nas demais idades, realizaram-se as medições em 36 árvores por parcela, das quais foram medidas todas as árvores contidas nas unidades amostrais do espaçamento 3,50x3,50 m e as seis primeiras árvores em cada linha para os demais espaçamentos.

A partir das medições na área útil das unidades experimentais, foi calculada a taxa de sobrevivência (S%) (6), a qual 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. Foram calculadas, ainda, a área basal individual das árvores (g) (8) e a área basal por hectare (G) (9).

$$S = \frac{ni}{ne} * 100 \quad (6)$$

$$gi = \frac{\pi * DAP^2}{4} \quad (7)$$

$$\bar{g}i = \frac{\sum gi}{ni} \quad (8)$$

$$G = \bar{g}i * N \quad (9)$$

Em que:

S = Taxa de sobrevivência (%);

ni = Número de árvores medidas;

n_e = Número de árvores esperadas;

g_i = Área basal individual (m^2);

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

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

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

N = Número de árvores por hectare.

3.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e de homogeneidade de variância para verificar a adequação dos dados e posterior análise de variância. Para os que não apresentaram dados normais e homogeneidade de variância realizou-se a transformação logarítmica dos dados, enquanto que a variável sobrevivência por ser determinada em porcentagem foi transformada para Arco seno raiz quadrada (RESENDE, 2007). As variáveis de solo foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade de erro, para as que se mostraram significativas foram comparadas as médias entre os tratamentos para cada época e entre épocas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As variáveis de crescimento foram submetidas a testes em esquema de parcela subdividida no tempo. Realizou-se a análise de variância e na observância de resultado significativo realizou-se a comparação das médias entre os tratamentos por Tukey, a 5% de probabilidade de erro, para o desdobramento dos tratamentos (espaçamentos) nas idades e análise de regressão para a as idades em cada tratamento.

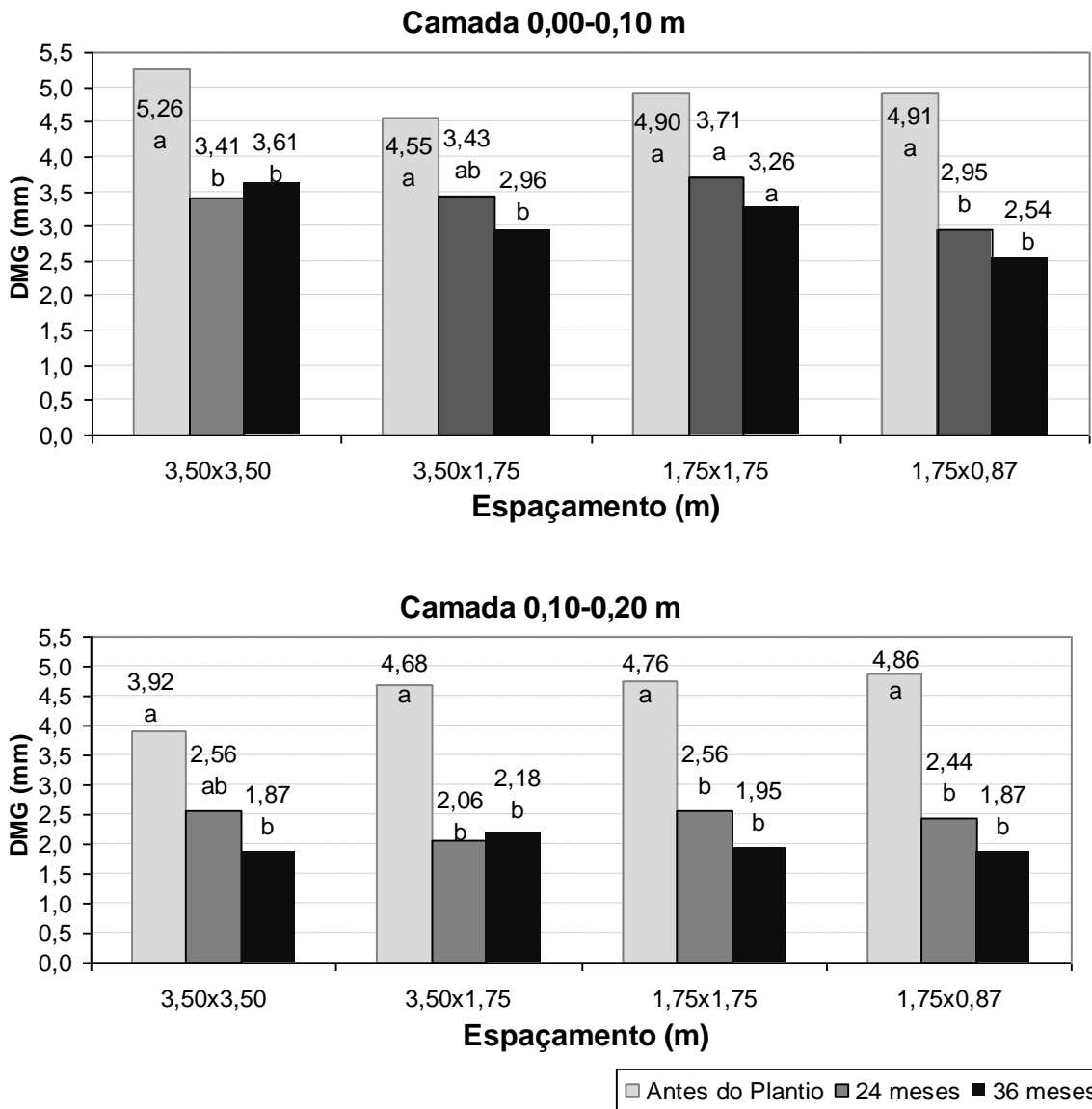
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades Físicas do Solo

A agregação do solo avaliada através do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e porcentagem dos agregados estáveis em água em classes de tamanho para os espaçamentos de plantio de *Eucalyptus dunnii* nas avaliações realizadas antes da implantação e aos 24 e 36 meses de idade em Argissolo podem ser observadas através das Figuras 6 e 7. A análise de variância realizada para comparar os espaçamentos de plantio em cada época demonstrou que não houve diferença entre os espaçamentos na distribuição dos agregados estáveis em água aos 24 e 36 meses após a implantação de eucalipto em campo nativo (Apêndice A e B).

Ao comparar a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água antes e após 24 e 36 meses do plantio de eucalipto observou-se maior diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados antes do cultivo (Figura 6). Na camada de solo 0,0-0,10 m, nos espaçamentos 3,50x3,50m e 1,75x0,87m, o DMG dos agregados foi significativamente reduzido após 24 e 36 meses de cultivo de eucalipto. No espaçamento 3,50x1,75m observou-se diferença significativa entre o DMG antes do plantio e aos 36 meses e no espaçamento 1,75x1,75m não observou-se diferença. Na camada 0,10-0,20 m o DMG foi mais afetado pelo cultivo do eucalipto que na camada da superfície, nessa camada os agregados estáveis em água avaliados antes do plantio foram significativamente maiores que aos 24 meses, para os espaçamentos 3,50x1,75m; 1,75x1,75m e 1,75x0,87m, e maior que aos 36 meses em todos os espaçamentos.

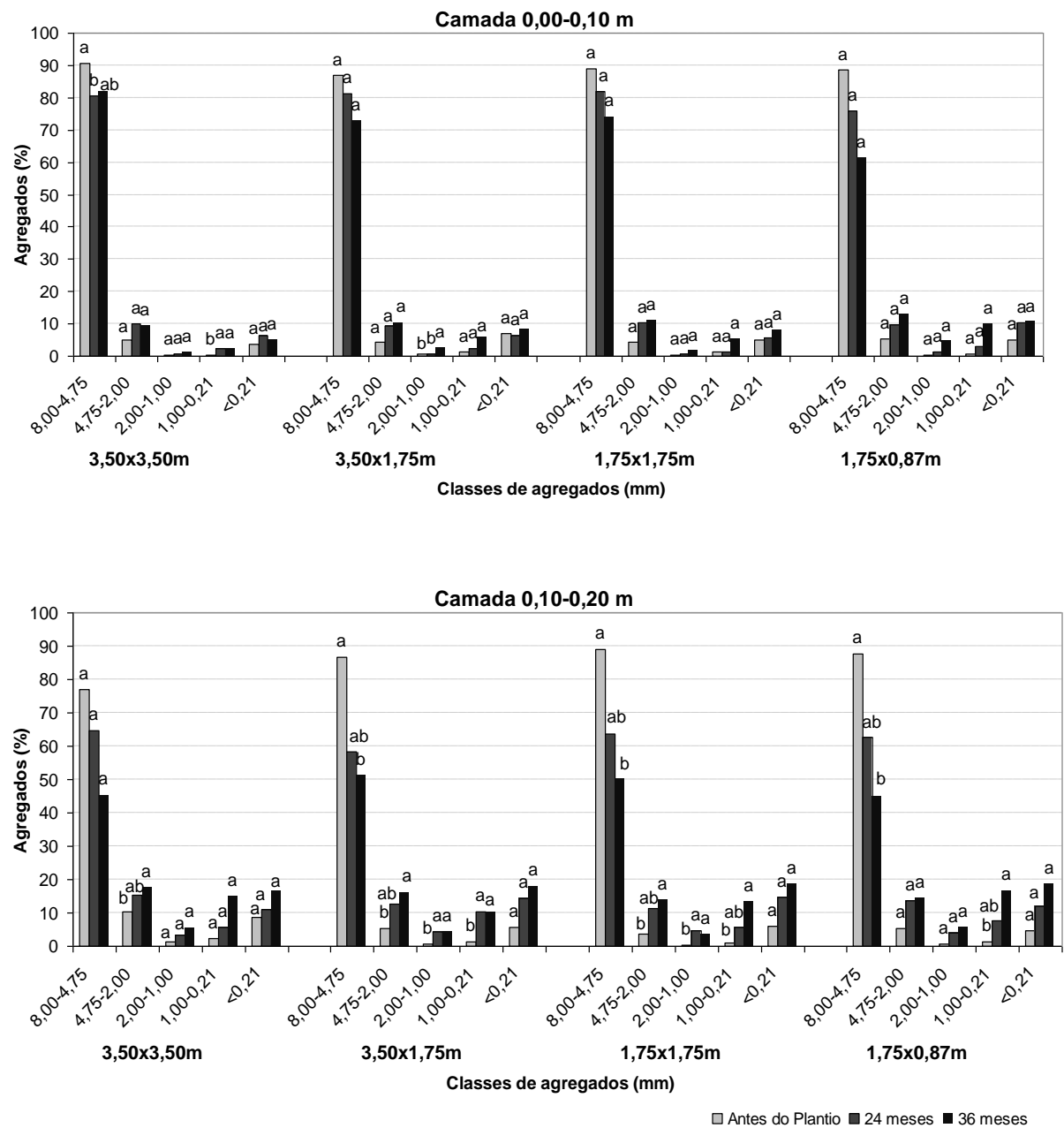
O cultivo de eucalipto proporcionou redução na porcentagem dos agregados estáveis em água das classes de maiores tamanho no espaçamento 3,50x3,50m na camada 0,0-0,10m e nos espaçamentos 3,50x1,75m; 1,75x1,75m e 1,75x0,87m na camada 0,10-0,20m (Figura 7).



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

Figura 6 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água antes e após 24 e 36 meses do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Embora tenha ocorrido redução na agregação do solo com o cultivo do eucalipto, os resultados demonstram que tanto o campo nativo quanto o sistema florestal são eficientes em manter a estrutura do solo, sendo que este solo apresenta elevado teor de areia. Nesse caso, a maior porcentagem de agregados estáveis observada na classe de 8,00-4,75mm pode ser atribuída ao efeito do sistema radicular da vegetação.



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

Figura 7 – Distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água antes e após 24 e 36 meses do plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Resultados semelhantes de distribuição dos agregados estáveis em água foram observados em um Argissolo Vermelho de textura superficial arenosa (160 g kg⁻¹ de argila e 562 g kg⁻¹ de areia), onde a maior porcentagem de agregados

estáveis em água também foi verificada para a classe 8,00-4,75mm cuja porcentagem foi de 80% e 77% para mata nativa e campo nativo, respectivamente, enquanto que o DMG do campo nativo atingiu 3,5mm na camada 0,0-0,05m e 2,5mm na camada 0,10-0,15m (FLORES et al., 2008).

A adequada agregação do solo nos sistemas estudados pode estar relacionada com o efeito do sistema radicular da vegetação, pois as raízes, apesar de representarem uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, exercem grande influência na formação e estabilidade dos agregados do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997). As raízes da vegetação atuam como ligantes físicos e produzem agentes cimentantes eficientes na estabilização dos macroagregados do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Tisdall e Oades (1982) agregados grandes (> 2 mm) são mantidos juntos por uma fina rede de raízes e hifas. Além disso, as raízes removem continuamente a água, criando “secamento” nas regiões próximas a elas e, pela exsudação, fornecem alimento para microrganismos da rizosfera que, direta ou indiretamente, influenciam a agregação (WOHLENBERG, 2004).

A redução na agregação do solo com o cultivo do eucalipto pode ser atribuída a maior capacidade do sistema radicular das gramíneas em promover a estabilidade dos macroagregados do solo, pois as gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Estudos que comparam diferentes sistemas de uso do solo corroboram com o presente estudo ao observar maior agregação do solo sob área de campo. Nesse sentido, Fonseca et al. (1993) encontraram valores mais elevados de agregados maiores que 2 mm e maior percentual de agregados na classe 9,52-4,76mm em pastagem quando comparados com *Eucalyptus paniculata* com 26 anos e mata natural. Os autores sugerem que este resultado esteja atribuído à maior eficiência de agregação do sistema radicular das gramíneas. Também se observou maior agregação do solo, avaliada através da maior porcentagem de agregados estáveis em água na classe de diâmetro 8,00-2,00 mm e maior DMG em áreas de floresta homogênea de *Eucalyptus grandis* e campo nativo quando comparados a sistema agrosilvipastoril em um Argissolo Vermelho Eutrófico arênico no município de Alegrete (RS) (SANTOS et al., 2011).

Em estudo realizado com o objetivo de avaliar a agregação do solo em diferentes sistemas, verificou-se que as maiores percentagens de agregados estáveis em água nas classes de agregados entre 8,00 e 2,00 mm foram verificadas no Campo Nativo e na floresta homogênea de *Eucalyptus grandis* com cinco anos, implantado em espaçamento 3,0x1,5m, quando comparados com sistema silvapastoril (SANTOS et al., 2011).

Os valores de densidade do solo estão representados na Tabela 2. A comparação através de análise de variância realizada entre os espaçamentos de plantio, para a avaliação aos 24 e 36 meses de cultivo de eucalipto, demonstrou que não houve diferença entre os espaçamentos em estudo para a densidade do solo (Apêndice C).

Quando comparada a densidade do solo antes e após 24 e 36 meses de cultivo de eucalipto observou-se alteração da densidade no espaçamento 3,50x3,50m na camada 0,0-0,10m, em que ocorreu elevação nesta propriedade após 24 meses do plantio de 1,58 g cm⁻³ para 1,65 g cm⁻³ e na avaliação realizada aos 36 meses reduziu para 1,56 g cm⁻³ (Tabela 3). Nos demais espaçamentos não se verificaram alterações na densidade após o cultivo de eucalipto, cujos valores alternaram de 1,58 g cm⁻³ a 1,65 g cm⁻³ na camada 0,10-0,20 m e de 1,58 g cm⁻³ a 1,67 g cm⁻³ na camada 0,20-0,40m.

Ao avaliar a condição estrutural de um Argissolo Vermelho Distrófico no Rio Grande do Sul, sob floresta nativa, pastagem cultivada e povoamento de eucalipto foram observados valores de densidade entre 1,35 g cm⁻³ e 1,50 g cm⁻³ em floresta de *Eucalyptus saligna*, conduzido em segunda rotação, com 4,5 anos de idade, sendo que a maior densidade foi observada na camada mais superficial do solo (SUZUKI et al., 2012). Os valores encontrados pelos autores são menores que no presente estudo, o que se relaciona com a textura do solo, pois no caso do presente trabalho o solo tem maior teor de areia, embora pertença à mesma classificação.

Resultados de densidade do solo semelhantes aos observados no presente estudo foram relatados em um Neossolo Quartzarênico (846 g.kg⁻¹ de areia, 25 g.kg⁻¹ de silte e 129 g.kg⁻¹ de argila) com *Eucalyptus grandis* aos seis anos de idade implantado em espaçamento 3x2m, os valores de densidade variaram de 1,51 g cm⁻³ a 1,61 g cm⁻³ nas camadas de solo (RODRIGUES et al., 2012).

Tabela 3 – Densidade do solo (g cm^{-3}) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,00-0,10 m				
Antes plantio	1,58 b	1,56 a	1,60 a	1,57 a
24 meses	1,65 a	1,61 a	1,64 a	1,63 a
36 meses	1,56 b	1,58 a	1,55 a	1,58 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	1,65 a	1,61 a	1,61 a	1,63 a
24 meses	1,65 a	1,61 a	1,60 a	1,65 a
36 meses	1,59 a	1,61 a	1,61 a	1,58 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	1,56 a	1,58 a	1,58 a	1,58 a
24 meses	1,60 a	1,62 a	1,63 a	1,67 a
36 meses	1,64 a	1,63 a	1,61 a	1,56 a

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

O aumento inicial da densidade do solo na camada 0,0-0,10m, significativo no espaçamento 3,50x3,50m, pode ter ocorrido em decorrência dos tratos culturais em que, devido a menor cobertura do solo, havia uma menor proteção e com isso ocorreu o aumento da densidade. Pois as máquinas e implementos utilizados na implantação florestal podem alterar a estrutura do solo, resultando no aumento da densidade do mesmo.

Esse acréscimo na densidade do solo, que ocorreu após 24 meses de cultivo do eucalipto, não atingiu níveis limitantes ao desenvolvimento normal das plantas, pois de acordo com as estimativas de Reichert, Suzuki e Reinert (2007), que relacionam a densidade e o teor de argila do solo, os valores críticos de densidade restritivos para culturas agrícolas de acordo com a textura na camada 0,10-0,20m seriam de $1,93 \text{ g cm}^{-3}$. Já os valores limitantes das camadas 0,0-0,10m; e 0,20-0,40m seriam de, respectivamente $1,91$; $1,94 \text{ g cm}^{-3}$. Além disso, considera-se que o aumento na densidade do solo nem sempre se torna prejudicial ao crescimento e desenvolvimento das plantas, pois aumentos até certos limites podem contribuir para o armazenamento de água (REICHERT et al., 2009). No caso em estudo, em que o

solo apresenta classe textural areia, é possível que o aumento na densidade do solo possa vir a beneficiar as plantas.

Os resultados de porosidade total, micro e macroporosidade podem ser observados nas Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente. Os espaçamentos de plantio do eucalipto não apresentaram diferença entre si, através da análise de variância, quanto a porosidade total, macroporosidade e microporosidade após 24 e 36 meses de cultivo (Apêndice D, E e F).

Ao comparar a porosidade total do solo antes e após o cultivo de eucalipto, verificou-se alteração nessa propriedade somente no espaçamento 3,50x3,50m na camada 0,0-0,10 m, em que ocorreu redução da porosidade total após 24 meses com posterior elevação aos 36 meses (Tabela 4). Os valores de porosidade total observados antes e após 24 e 36 meses de idade foram, respectivamente, 0,397 m^3m^{-3} ; 0,362 m^3m^{-3} ; 0,402 m^3m^{-3} . Essa redução da porosidade reflete uma inicial compactação do solo, pois se relaciona com o aumento de densidade. Essa relação, em que os valores de porosidade total apresentam-se inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total também têm sido relatados na literatura (NEVES et al., 2007; CAVENAGE et al., 1999). Nos demais espaçamentos e camadas de solo não se verificaram alterações na porosidade total do solo com o cultivo de eucalipto.

Os resultados de porosidade total em solo de classe textural franco arenoso, com floresta de eucalipto, atingiram valores de 0,505 e 0,389 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (DAMBRÓS, 2012), enquanto que em um Argissolo Vermelho Distrófico sob floresta de eucalipto com 4 anos e meio os valores variaram entre 0,365 e 0,420 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (SUZUKI et al., 2012). Ao comparar estes resultados com o presente estudo verifica-se que os resultados foram semelhantes aos observados na literatura.

Valores de porosidade total do solo semelhante aos do presente estudo foram relatados em um estudo com Neossolo Quartzarênico (90,7% de areia, 3,9% de silte e 5,5% de argila) sob vegetação nativa, cuja porosidade total observado foi de 0,444 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (RIBEIRO et al., 2007). Este valor observado indica que a porosidade do solo em estudo encontra-se adequada ao considerar que a classe textural é semelhante ao dos autores citados.

Tabela 4 – Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,00-0,10 m				
Antes plantio	0,397 a	0,400 a	0,375 a	0,392 a
24 meses	0,362 b	0,377 a	0,370 a	0,370 a
36 meses	0,402 a	0,387 a	0,407 a	0,395 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,362 a	0,377 a	0,377 a	0,370 a
24 meses	0,367 a	0,377 a	0,382 a	0,362 a
36 meses	0,390 a	0,380 a	0,385 a	0,395 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,402 a	0,387 a	0,387 a	0,395 a
24 meses	0,385 a	0,372 a	0,372 a	0,357 a
36 meses	0,370 a	0,372 a	0,387 a	0,405 a

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

Alterações na porosidade do solo tendem a ocorrer com a modificação do uso. No entanto, em estudo realizado por Lanzanova et al. (2010) verificou-se que a porosidade de um Argissolo Vermelho, um ano após a instalação do experimento, não foi alterada por cinco sistemas agrícolas com rotação de culturas e campo nativo.

No que se refere à macroporosidade, avaliada antes e após o cultivo do eucalipto, esta propriedade foi sensível ao cultivo na camada 0,10-0,20m quando utilizado os espaçamentos 3,50x3,50m e 3,50x1,75m (Tabela 5). As diferenças significativas ocorreram quando comparados os valores de macroporos antes e após 24 meses. Na avaliação realizada aos 36 meses não foi possível verificar mais diferença no volume de macroporos do solo. Nesse caso, ocorreu redução da macroporosidade do solo no início do cultivo e tornou a aumentar no decorrer do tempo.

O comportamento da macroporosidade do solo pode ser devido a intervenção na área durante as operações de preparo do solo em que ocorreu tráfego de máquinas. A redução no número dos macroporos pode ocorrer devido à pressão mecânica de máquinas agrícolas (ARAÚJO et al., 2012). Dessa forma, como o solo

foi revolvido apenas na linha de plantio, com o efeito da não intervenção pós plantio, os macroporos do solo passaram a aumentar novamente, pois a concentração de raízes, o aporte de matéria orgânica e a ação de organismos podem contribuir na formação dos macroporos (SUZUKI et al., 2012).

Tabela 5 – Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,00-0,10 m				
Antes plantio	0,180 a	0,172 a	0,175 a	0,172 a
24 meses	0,177 a	0,182 a	0,170 a	0,175 a
36 meses	0,182 a	0,182 a	0,175 a	0,177 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,182 ab	0,182 ab	0,182 a	0,175 a
24 meses	0,170 b	0,160 b	0,180 a	0,177 a
36 meses	0,192 a	0,197 a	0,202 a	0,187 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,177 a	0,182 b	0,182 a	0,177 a
24 meses	0,162 a	0,180 b	0,180 a	0,182 a
36 meses	0,185 a	0,207 a	0,195 a	0,187 a

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

O cultivo de eucalipto não interferiu na microporosidade do solo aos 24 e 36 meses de idade (Tabela 6), ou seja, a microporosidade do solo não foi sensível ao cultivo de eucalipto nos espaçamentos de plantio avaliados.

Em estudo realizado com o objetivo de avaliar a qualidade física de um Latossolo submetido a diferentes usos também não se verificou diferença entre diferentes sistemas de uso do solo (*Eucalyptus* com um ano, *Eucalyptus* com 13 anos, *Eucalyptus* com 20 anos, pastagem, floresta nativa e culturas anuais) (MOTA, 2012). Segundo o autor, esse resultado, reforça a teoria de que a microporosidade é pouco afetada pelo uso e manejo do solo, sendo influenciada, principalmente, pelo material orgânico do solo.

Tabela 6 – Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento (m)			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,00-0,10 m				
Antes plantio	0,217 a	0,227 a	0,205 a	0,217 a
24 meses	0,187 a	0,200 a	0,200 a	0,197 a
36 meses	0,215 a	0,207 a	0,235 a	0,220 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,215 a	0,200 a	0,200 a	0,197 a
24 meses	0,215 a	0,215 a	0,202 a	0,190 a
36 meses	0,177 a	0,180 a	0,182 a	0,207 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,187 a	0,207 a	0,207 a	0,220 a
24 meses	0,205 a	0,192 a	0,192 a	0,177 a
36 meses	0,202 a	0,165 a	0,192 a	0,215 a

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

Observou-se que a macroporosidade demonstrou-se mais sensível que a microporosidade ao cultivo do eucalipto. Resultado que concorda com a constatação de Albuquerque, Sangoi e Ender (2001), os quais constataram que a macroporosidade foi mais sensível as mudanças impostas pelo manejo do que os microporos.

4.2 Propriedades químicas do solo

O resultado das propriedades químicas do solo pode ser observado através da Tabela 7. A análise de variância não demonstrou diferença significativa entre os espaçamentos de plantio para as propriedades químicas do solo aos 24 e 36 meses (Apêndice G). Quando comparada a condição química do solo antes e após 24 e 36 meses em cada espaçamento, observa-se que ocorreram alterações no solo que variaram de acordo com a propriedade e a época de avaliação.

Tabela 7 – pH do solo antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	4,50 a	4,36 a	4,67 a	4,49 a
24 meses	4,70 a	4,60 a	4,46 a	4,48 a
36 meses	4,18 b	4,63 a	4,48 a	4,41 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	4,19 a	4,12 b	4,35 a	4,30 ab
24 meses	4,69 a	4,66 a	4,47 a	4,55 a
36 meses	4,26 a	4,10 b	4,07 b	4,07 b
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	3,99 b	3,98 b	4,27 a	3,94 b
24 meses	4,71 a	4,63 a	4,48 a	4,58 a
36 meses	4,05 b	4,08 b	4,10 a	3,97 b
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	4,03 b	3,99 b	4,02 b	3,97 b
24 meses	4,74 a	4,64 a	4,54 a	4,58 a
36 meses	3,97 b	4,01 b	4,08 b	3,91 b
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	4,20 b	4,20 b	4,10 b	4,20 b
24 meses	4,74 a	4,76 a	4,64 a	4,53 a
36 meses	4,02 c	4,19 b	4,04 b	3,94 c

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

No pH do solo ocorreu redução após 36 meses de cultivo de eucalipto no espaçamento 3,50X3,50m na camada de solo 0,0-0,10m.

Na camada 0,10-0,20m observou-se aumento do pH aos 24 meses e posterior redução aos 36 meses no espaçamento 3,50X1,75m. No entanto, na camada 0,10-0,20m, no espaçamento 1,75X1,75m ocorreu redução aos 24 e 36 meses. No espaçamento 1,75X0,87m aumentou aos 24 meses e tornou a reduzir aos 36 meses.

Nas camadas 0,20-0,40m; 0,40-0,60m e 0,60-1,00m o pH do solo foi elevado após 24 meses de idade e reduziu novamente aos 36 meses, com exceção do espaçamento 1,75X1,75m na camada 0,20-0,40m, no qual o pH não foi afetado pelo cultivo do eucalipto.

Com o uso mais intensivo do solo é possível ocorrer aumento da acidez, pois a acidificação se inicia, ou se acentua, devido à remoção de bases da superfície dos

colóides do solo, principalmente devido a remoção de Ca e Mg pela água da chuva ou absorção pelas plantas e alocação na biomassa (OLIVEIRA et al., 2005). No entanto a acidificação do solo não apresentou relação com a remoção de bases do solo, pois não se observou correlação entre estas variáveis (Tabela 8).

Em estudo realizado para identificar modificações nas propriedades químicas do solo com o cultivo de eucalipto em cinco sítios, verificou-se que o eucalipto em curta rotação causou significativa queda dos valores de pH do solo quando comparado com pastagem (LEITE et al., 2010). Rhoades e Binkley (1996) também observaram redução no pH do solo após oito anos de cultivo de *Eucalyptus saligna*, sendo que nos dois primeiros anos de cultivo já se observou uma redução no pH de 5,9 para 5,4; aos oito anos o pH atingiu o valor 5,0.

Em estudo realizado para comparar as propriedades químicas de um solo arenoso em savana nativa e um povoamento de eucalipto aos três anos de idade observou-se que na camada superficial (0,0-0,5m) o valor de pH do solo foi superior em área de savana do que em eucalipto (LACLAU et al., 2003).

Dessa forma, as informações na literatura indicam que reduções no pH do solo cultivado com eucalipto são comuns. Além disso, a alteração do pH do solo nas camadas mais profundas indica que o cultivo com eucalipto, devido ao grande porte das árvores, modifica as características do solo em profundidade devido à presença de raízes até essas camadas, pois o sistema radicular das plantas promove a diminuição no pH do solo (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Estudo realizado em campo nativo, floresta nativa e povoamentos de *Pinus elliottii* em Argissolo Vermelho distrófico, comprovou o efeito do cultivo florestal na redução do pH do solo em camadas mais profundas. Nesse estudo, foram observados valores de pH menores nas áreas sob plantio de pinus quando comparados a floresta nativa, e menores valores de pH nas áreas de pinus quando comparado com campo nativos nas camadas 0,0-0,10m e 0,10-0,20m (BRUN et al., 2009).

O Cálcio foi pouco alterado com o cultivo do eucalipto aos 24 e 36 meses de idade (Tabela 7). Nas camadas 0,0-0,10m; 0,20-0,40m e 0,40-0,60m não houve diferença entre as épocas de avaliação nos espaçamentos de plantio estudados. Na camada 0,10-0,20m os teores de Ca reduziram após 36 meses de cultivo nos espaçamentos 3,50X3,50m; 1,75X1,75m e 1,75X0,87m. Laclau et al. (2003) também observaram menor teor de Ca no solo de floresta de eucalipto quando comparado

com campo savana nativo, o que evidencia a redução no teor do nutriente no solo com o cultivo.

Na camada 0,60-1,00m os teores de Ca reduziram aos 24 meses e se elevaram aos 36 meses de idade para o espaçamento 3,50X1,75m, enquanto que para o espaçamento 1,75X0,87m foram superiores aos 24 e 36 meses quando comparado com a condição antes do cultivo.

Os maiores teores de Ca observados aos 24 e 36 meses após o cultivo estão relacionados com a fertilização, já que o fosfato natural usado apresenta Ca na formulação. O aumento dos teores de Ca após o cultivo de eucalipto foi relatado por Mishraa, Sharmaa e Khan (2003), que observaram aumento no teor de Ca aos três anos de cultivo de *Eucalyptus tereticornis*. Também foram relatados maiores teores de Ca no solo floresta de eucalipto quando comparados com pastagem no terço superior do terreno (EFFGEN et al., 2012).

Os teores de Magnésio na camada de solo 0,0-0,10m foram superiores aos 24 e 36 meses de cultivo em relação à condição antes do plantio em todos os espaçamentos estudados (Tabela 9).

Resultado este que corrobora com estudo realizado para comparar as características químicas do solo sob eucalipto e pastagem, em que observou-se que os valores de Mg encontrados no solo sob eucalipto foram significativamente superiores aos observados no solo sob pastagem (LEITE et al., 2010). Além disso, a baixa concentração de Ca e Mg, no sistema nativo é uma resposta esperada para este tipo de solo, em que a contribuição da vegetação para o suprimento deste nutriente é pequena (FRAZÃO et al., 2008).

Tabela 8 – Teores de Cálcio (Ca) no solo ($\text{cmol}_c \text{ dcm}^{-3}$) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	0,80 a	0,77 a	0,62 a	0,65 a
24 meses	0,96 a	0,77 a	0,68 a	0,59 a
36 meses	0,62 a	0,73 a	0,64 a	0,60 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,72 a	0,77 a	0,75 a	0,75 a
24 meses	0,75 a	0,74 a	0,77 a	0,75 a
36 meses	0,41 b	0,67 a	0,48 b	0,41 b
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,65 a	0,72 a	0,51 a	0,67 a
24 meses	0,75 a	0,74 a	0,77 a	0,68 a
36 meses	0,51 a	0,72 a	0,48 a	0,52 a
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	0,62 a	0,53 a	0,51 a	0,53 a
24 meses	0,70 a	0,77 a	0,69 a	0,54 a
36 meses	0,45 a	0,65 a	0,57 a	0,50 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	0,61 a	0,37ab	0,41 a	0,49 b
24 meses	0,94 a	0,17 b	0,76 a	0,74 a
36 meses	0,60 a	0,75 a	0,47 a	0,52 ab

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Na camada 0,10-0,20m os teores de Mg foram elevados 24 meses após o cultivo, no espaçamento 3,50X3,50m e 1,75X0,87m. Aos 36 meses o teor de Mg diferiu da condição anterior ao plantio no espaçamento 3,50x3,50m e não diferiu no espaçamento 1,75X0,87m. Nos demais espaçamentos não ocorreram alterações significativas nos teores de Mg no solo com o cultivo do eucalipto. Também não verificou-se diferença entre o período de cultivo nas camadas 0,20-0,40 m e 0,40-0,60m. Na camada 0,60-1,00m os teores de Mg reduziram após 24 meses de cultivo no espaçamento 3,50X1,75m e após 36 meses para o espaçamento 1,75X1,75m.

Essa elevação do Mg no solo, após o cultivo de eucalipto, está relacionada com a liberação dos nutrientes pela decomposição das gramíneas existentes no campo anteriormente ao plantio, pois o aumento nos teores de Mg ocorreu somente nas camadas superficiais (0,0-0,10m e 0,10-0,20m).

Tabela 9 – Teores de Magnésio (Mg) no solo ($\text{cmol}_c \text{ dcm}^{-3}$) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	0,25 b	0,30 b	0,25 b	0,25 b
24 meses	0,54 a	0,58 a	0,53 a	0,61 a
36 meses	0,54 a	0,60 a	0,54 a	0,44 ab
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,30 b	0,30 a	0,27 a	0,27 b
24 meses	0,51 a	0,52 a	0,52 a	0,51 a
36 meses	0,33 a	0,43 a	0,35 a	0,35 ab
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,22 a	0,25 a	0,35 a	0,25 a
24 meses	0,45 a	0,50 a	0,55 a	0,56 a
36 meses	0,41 a	0,50 a	0,30 a	0,42 a
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	0,34 a	0,32 a	0,35 a	0,32 a
24 meses	0,41 a	0,45 a	0,49 a	0,38 a
36 meses	0,34 a	0,41 a	0,34 a	0,29 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	0,60 a	2,13 a	0,59 a	0,49 a
24 meses	0,47 a	0,62 b	0,48 ab	0,43 a
36 meses	0,34 a	0,43 b	0,27 b	0,26 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Os teores de Fósforo foram reduzidos de forma significativa após 24 e 36 meses no tratamento 1,75X1,75m para a camada 0,0-0,10m, nos demais espaçamentos não ocorreu alteração (Tabela 10). No espaçamento 1,75x0,87m ocorreu tendência a redução não significativa. A esse comportamento se atribui o grande número de plantas por área que aumentaram a demanda pelo nutriente, no caso do espaçamento 1,75X1,75m, devido ao seu maior incremento a demanda foi maior, o que reduziu o teor de P no solo a níveis significativos.

Tabela 10 – Teores de Fósforo (P) no solo (mg dcm^{-3}) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	8,80 a	8,30 a	8,66 a	7,83 a
24 meses	5,34 a	5,50 a	4,14 b	5,75 a
36 meses	4,37 a	6,02 a	3,90 b	5,00 a
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	4,35 ab	4,04 a	4,54 a	5,18 a
24 meses	4,97 a	3,54 a	3,41 a	4,74 a
36 meses	2,67 b	3,76 a	2,99 a	2,98 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	3,07 a	2,30 a	2,68 a	2,93 a
24 meses	3,23 a	2,84 a	2,31 ab	3,00 a
36 meses	1,77 a	2,84 a	2,22 b	2,52 a
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	2,98 a	1,94 a	1,67 a	1,89 a
24 meses	3,30 a	2,62 a	1,72 a	1,63 a
36 meses	1,47 a	1,47 a	1,77 a	2,83 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	1,88 a	1,62 a	1,82 a	1,81 a
24 meses	2,86 a	2,93 a	1,55 a	1,73 a
36 meses	1,17 a	1,17 a	1,32 a	1,81 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Na camada 0,10-0,20m ocorreu aumento no teor de P aos 24 meses e tornou a reduzir aos 36 meses no espaçamento 3,50X3,50m, o que se atribui a fertilização fosfatada aplicada no momento de preparo do solo nesse espaçamento que, devido ao reduzido número de plantas, não foi utilizado até os 24 meses de idade, no entanto, aos 36 meses a demanda pelas plantas aumentaram, e dessa forma, reduziu o teor no solo.

Teores de P mais elevados em solo cultivado com eucalipto quando comparado a pastagem foram reportados em estudos realizados por Leite et al. (2010) e Laclau et al. (2003).

Com relação à camada 0,20-0,40m, observou-se que os teores de P reduziram após 36 meses para o espaçamento 1,75X1,75m, assim como ocorreu para a camada 0,0-0,10m. Nas camadas 0,40-0,60 m e 0,60-1,00m não ocorreram

alterações nos teores de P para os espaçamentos de plantio de eucalipto estudados, o que evidencia que o nutriente apresenta baixa mobilidade no solo.

Os teores de Potássio no solo na camada 0,0-0,10m reduziram após o cultivo (Tabela 11), com exceção do espaçamento 3,50x1,75m, de forma que nos espaçamentos 3,50X3,50m e 1,75X1,75m a redução ocorreu aos 24 meses, e no espaçamento 1,75X0,87m a redução do teor de K foi verificada somente aos 36 meses de cultivo. Na camada 0,10-0,20m observou-se redução no teor de K aos 36 meses para o espaçamento 3,50X3,50m e após 24 meses para o espaçamento 1,75X1,75m. Nas camadas 0,20-0,40m e 0,40-0,60m não se verificou alteração deste nutriente no solo. Na camada 0,60-1,00m somente no espaçamento 3,50X1,75m ocorreu alteração no teor de K, em que verificou-se o maior teor aos 24 meses, que diferiu da condição avaliada antes do plantio.

Aumento significativo no teor de K foi encontrado após o plantio de eucalipto até 0,60 e 1,50 m de profundidade aos três e seis anos de idade, respectivamente (MISHRAA; SHARMAA; KHAN, 2003).

Os teores de Nitrogênio foram reduzidos após o cultivo na maioria dos espaçamentos (Tabela 12).

Na camada 0,0-0,10m observa-se menor teor de N após 24 meses de cultivo nos espaçamentos 3,50X1,75m; 1,75X1,75m e 1,75X0,87m, sendo que no espaçamento 3,50X1,75m não ocorre diferença no teor de N antes do plantio e aos 36 meses, ou seja, nesse espaçamento o nutriente reduziu aos 24 meses e aumentou novamente aos 36.

Na camada 0,10-0,20 m observou-se redução no teor de N no espaçamento 3,50X3,50m aos 36 meses e no espaçamento 1,75X1,75m a redução ocorreu a partir de 24 meses de cultivo. Na camada 0,20-0,40m ocorreu alterações nos teores de N nos espaçamentos 1,75X1,75m e 1,75X0,87m, em que houve redução de N aos 36 meses em ambos os espaçamentos. Nas camadas 0,40-0,60m e 0,60-1,00m não verificou-se alteração nos teores de N no solo. A redução no teor de N do solo, com o cultivo de eucalipto, pode ser consequência da alta demanda de florestas jovens de eucalipto por nutrientes, principalmente nitrogênio, até a formação da copa, sendo todo nutriente absorvido do solo (VEZZANI; TEDESCO; BARROS, 2001). Além disso, cabe ressaltar que a floresta de eucalipto ainda é jovem e não iniciou o processo de ciclagem de nutrientes da serapilheira. Dessa forma, até os 36

meses de idade ocorreu o consumo dos nutrientes do solo, o que acarretou diminuição dos teores dos nutrientes aplicados.

Tabela 11 – Teores de Potássio (K) no solo (mg dcm^{-3}) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	86,00 a	67,50 a	115,50 a	117,00 a
24 meses	56,33 b	79,83 a	56,83 b	82,33 ab
36 meses	56,70 b	70,83 a	61,90 b	48,90 b
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	63,00 a	64,50 a	109,00 a	99,50 a
24 meses	66,58 a	62,83 a	63,83 b	89,33 a
36 meses	23,40 b	57,70 a	46,00 b	53,50 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	50,50 a	43,50 a	60,50 a	54,50 a
24 meses	71,33 a	58,83 a	52,33 a	83,83 a
36 meses	53,60 a	40,70 a	49,90 a	52,60 a
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	39,00 a	30,0 a	48,50 a	41,00 a
24 meses	52,83 a	50,83 a	22,33 a	49,33 a
36 meses	50,90 a	56,20 a	44,80 a	51,10 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	36,50 a	24,50 b	47,50 a	49,00 a
24 meses	33,83 a	59,33 a	20,33 a	29,33 a
36 meses	37,10 a	41,80 ab	33,60 a	28,90 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Tabela 12 – Teores de Nitrogênio (N) no solo (%) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	0,060 a	0,064 a	0,062 a	0,061 a
24 meses	0,045 a	0,048 b	0,050 b	0,046 b
36 meses	0,047 a	0,050 ab	0,046 b	0,042 b
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,048 a	0,052 a	0,047 a	0,047 a
24 meses	0,042 ab	0,044 a	0,044 a	0,043 a
36 meses	0,037 b	0,043 a	0,037 b	0,035 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,05 a	0,049 a	0,047 a	0,045 a
24 meses	0,04 a	0,039 a	0,040 a	0,040 ab
36 meses	0,04 a	0,042 a	0,034 b	0,035 b
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	0,035 a	0,032 a	0,036 a	0,032 a
24 meses	0,035 a	0,037 a	0,033 a	0,032 a
36 meses	0,031 a	0,033 a	0,031 a	0,031 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	0,037 a	0,035 a	0,031 a	0,026 a
24 meses	0,029 a	0,030 a	0,027 a	0,026 a
36 meses	0,029 a	0,026 a	0,024 a	0,027 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O resultado do N em profundidade corrobora com o estudo realizado por Brun (2008), que verificou teores de N mais elevados em área de floresta nativa e campo nativo quando comparadas à floresta de *Pinus elliottii* aos 20, 24 e 27 anos de idade na camada 0,0-0,10m; na camada 0,10-0,20 o decréscimo nos teores fez com que o solo do campo nativo e da floresta nativa se tornasse muito próximo ao das áreas com pinus; enquanto nas camadas 0,20-0,40m e 0,40-0,60m os teores apresentavam-se todos muito próximos entre si, e não ocorreu diferença significativa.

O Carbono orgânico total do solo reduziu após 24 meses de cultivo de eucalipto no espaçamento 1,75X0,87m na camada 0,0-0,10m (Tabela 13). Na camada 0,10-0,20m o C no solo não foi alterado com o cultivo de eucalipto, enquanto que na camada 0,20-0,40m o COT reduziu aos 36 meses no espaçamento 1,75X1,75m.

Tabela 13 – Teores de Carbono (C) no solo (%) antes do plantio e após 24 e 36 meses de idade de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos, São Francisco de Assis, RS.

Época	Espaçamento			
	3,50X3,50	3,50X1,75	1,75X1,75	1,75X0,87
Camada 0,0-0,10 m				
Antes plantio	0,57 a	0,62 a	0,60 a	0,59 a
24 meses	0,45 a	0,49 a	0,49 a	0,48 b
36 meses	0,52 a	0,54 a	0,51 a	0,47 b
Camada 0,10-0,20 m				
Antes plantio	0,43 a	0,50 a	0,44 a	0,43 a
24 meses	0,43 a	0,45 a	0,45 a	0,46 a
36 meses	0,38 a	0,46 a	0,38 a	0,38 a
Camada 0,20-0,40 m				
Antes plantio	0,53 a	0,48 a	0,45 a	0,45 a
24 meses	0,43 a	0,40 a	0,45 a	0,43 a
36 meses	0,40 a	0,47 a	0,37 b	0,39 a
Camada 0,40-0,60 m				
Antes plantio	0,28 a	0,62 a	0,31 a	0,29 b
24 meses	0,36 a	0,41 a	0,35 a	0,36 ab
36 meses	0,34 a	0,35 a	0,34 a	0,37 a
Camada 0,60-1,0 m				
Antes plantio	0,28 a	0,26 a	0,24 a	0,20 b
24 meses	0,29 a	0,31 a	0,26 a	0,27 ab
36 meses	0,30 a	0,27 a	0,25 a	0,32 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna de cada camada de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Resultado semelhante ao observado por Pulrolnik et al. (2009), que encontraram maior estoque de COT em pastagem em relação ao cerrado e a floresta de eucalipto. Sendo que esse resultado pode ser atribuído ao sistema radicular de ciclagem rápida da vegetação e o elevado aporte de material vegetal nas camadas mais superficiais da pastagem (WENDLING et al., 2012).

A concentração mais elevada de Carbono Orgânico Total e de Nitrogênio na pastagem, observada na camada de 0,05 a 0,10m em relação aos sistemas área de eucalipto com 13 anos e área de eucalipto com 20 anos, provavelmente esteja relacionada à contribuição do sistema radicular das gramíneas presentes no sistema em subsuperfície e à redistribuição da matéria orgânica do solo das camadas superficiais para camadas mais profundas quando da implantação da pastagem cultivada (PILLON et al., 2011).

Em estudo sobre a densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto, WENDLING et al. (2012) verificaram que o teor de Carbono Orgânico Total dos solos estudados apresentou ordem decrescente: pastagem > semeadura direta > cerrado > pinus, fato que reflete diretamente o tipo de uso, manejo, sistema radicular, bem como o histórico de uso das áreas em cada condição. O Carbono da área de pastagem se diferenciou significativamente das demais áreas analisadas, em que esse sistema apresentou o maior teor de carbono, enquanto no *Pinus caribaea* observou-se o menor teor de Carbono, o qual se diferenciou da pastagem e da semeadura direta.

Nas camadas 0,40-0,60m e 0,60-1,00m o Carbono orgânico total no solo foi alterado no espaçamento 1,75X0,87m em que ocorreu aumento nos teores de C após os 24 meses de cultivo. A esse resultado pode-se atribuir o efeito do sistema radicular das árvores, que devido a elevada densidade, as raízes atingiram camadas mais profundas do solo e, devido a decomposição de raízes mortas ocorreu elevação no C neste espaçamento. Maiores teores de matéria orgânica no solo cultivado com eucalipto quando comparados com áreas de pastagem foram observados por Leite et al. (2010).

4.3 Porcentagem de sobrevivência e crescimento de *Eucalyptus dunnii*

A análise de variância para porcentagem de sobrevivência de *Eucalyptus dunnii* demonstra interação significativa do espaçamento versus idade, por isso estão apresentadas as médias de sobrevivência dos espaçamentos em estudo aos 12, 18, 24, 36 e 42 meses de idade (Tabela 14).

Tabela 14 – Índice de sobrevivência (%) em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico em São Francisco de Assis, RS.

Espaçamento (m)	Idade (meses)					
	12	18	24	30	36	42
3,50X3,50	81,94	71,53	71,53	70,83	70,14	69,45
3,50X1,75	86,05	80,21	79,95	78,90	78,12	77,08
1,75X1,75	85,60	82,03	81,77	81,25	80,21	77,08
1,75X0,87	85,20	73,73	73,73	68,86	67,26	60,37

Não se observou diferença entre os espaçamentos de plantio na sobrevivência nas idades avaliadas, ou seja, o espaçamento não afetou a porcentagem de sobrevivência das árvores até os 42 meses de idade. Isto, possivelmente, ocorreu devido à existência de outros fatores do sítio que promoveram uma intensa mortalidade, dessa forma, a morte de plantas não ocorreu como resultado da competição entre as árvores.

Resultados de pesquisas já desenvolvidas afirmam que com o aumento do número de árvores, espera-se um aumento da mortalidade pela maior porcentagem de plantas dominadas e mortas que ocorrem em espaçamentos menores (TONINI, 2003). Com isso, 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 as reais condições ecológicas observadas no campo, pós-plantio definitivo (Macedo et al., 2000), pois, é sob as diferentes condições de campo que, normalmente, as mudas de espécies florestais diferem em suas expressões fenotípicas, em que retratam os efeitos das interações genótipo/ambiente (MORAIS, 2006).

Em estudo realizado para avaliar o efeito do espaçamento de plantio e da qualidade do sítio no crescimento e mortalidade de *Pseudotsuga menziesii* foi observado que a mortalidade foi maior no espaçamento mais denso do que nos outros espaçamentos (HARRINGTON; HARRINGTON; DEBELL, 2009). No entanto, o efeito do espaçamento na mortalidade, bem como nas variáveis dendrométricas está relacionado com a espécie e material genético. Além disso, a não observância de efeito do espaçamento na mortalidade de plantas no presente estudo pode ter

como influência as condições climáticas na fase inicial de desenvolvimento, em que ocorreu um período de déficit hídrico e acarretou alta taxa de mortalidade inicial em todos os espaçamentos.

No entanto a porcentagem de sobrevivência do *Eucalyptus dunnii* em estudo está adequada, se comparar com a taxa de sobrevivência observada para diferentes espécies em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abruptico em textura arenosa/média, em que foram verificadas porcentagens de sobrevivência, aos oito anos de idade, próximas a 80% em *Eucalyptus saligna*, 70% em *Eucalyptus tereticornis* e abaixo de 65% em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus robusta* (VILAS BÔAS; MAX; MELO, 2009).

Além disso, em estudo realizado com o objetivo de analisar os efeitos de diferentes espaçamentos sobre variáveis de um povoamento de *Pinus taeda*, nas idades de 4 a 14 anos, verificou-se que até a idade de sete anos, a porcentagem de sobrevivência foi estatisticamente equivalente em todos os espaçamentos (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006). Segundo os autores, a partir da idade de oito anos ocorreu efeito do espaçamento na sobrevivência, sendo que os maiores espaçamentos apresentaram porcentagem de sobrevivência maior que os espaçamentos menores.

A partir da análise de variância é possível verificar que ocorreu interação entre espaçamento versus época. As médias de DAP nas diferentes épocas para os espaçamentos de plantio estão apresentadas na Tabela 15 e as equações de regressão com o coeficiente de determinação (R^2) para cada espaçamento na Figura 4.

Aos 12 e 18 meses não se observa diferença de DAP entre os espaçamentos. Os efeitos do espaçamento no DAP passam a ser percebidos a partir dos 24 meses de idade, em que o maior diâmetro foi verificado no espaçamento 3,50x3,50m que diferiu do 1,75x0,87m. Aos 30 meses o maior crescimento em DAP ocorreu no espaçamento 3,50x3,50m que não diferiu somente do 3,50x1,75m, enquanto aos 36 e 42 meses todos os DAP dos espaçamentos diferiram, sendo este proporcional ao espaço disponível para o crescimento das árvores, ou seja, espaçamentos mais amplos promoveram maior crescimento em diâmetro.

TABELA 15 – Diâmetro a altura do peito médio (DAP cm) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.

Espaçamento (m)	Idade (meses)					
	12	18	24	30	36	42
3,50X3,50	2,03 a	5,45 a	6,29 a	10,25 a	11,84 a	13,40 a
3,50X1,75	1,81 a	5,35 a	6,19 a	9,31 a	10,24 b	11,40 b
1,75X1,75	1,62 a	4,74 a	5,48 ab	7,51 b	8,20 c	8,94 c
1,75X0,87	1,74 a	4,27 a	4,75 b	6,22 c	6,87 d	7,56 d

Médias seguidas por mesma letra em coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Maiores valores de DAP em maiores espaçamentos têm sido relatados na literatura. Em estudo realizado com diferentes espécies de *Eucalyptus*, para verificar o efeito do espaçamento e idade no desenvolvimento das árvores, observou-se maior crescimento em diâmetro nos espaçamentos mais amplos em três espécies de *Eucalyptus* (BERNARDO et al., 1998). Os autores constataram valores de DAP semelhante ao observado no presente estudo, sendo que o diâmetro para *Eucalyptus urophylla* aos 41 meses de idade em espaçamento 3,0x1,5m; 3,0x3,0m e 4,0x3,0m foi, respectivamente, 9,7; 10,5 e 11,4 cm. Em estudo realizado por Morais (2006) também observou-se o mesmo comportamento, em que os maiores espaçamentos apresentaram maiores valores de DAP em todas as idades estudadas.

Maiores diâmetros em espaçamentos mais amplos também foram observados em *Pinus taeda* L. aos sete anos de idade (INOUE; FIGUEIREDO FILHO; LIMA, 2011). Leite; Nogueira e Moreira (2006) também constataram que maiores espaçamentos promoveram maior crescimento em diâmetro em *Pinus taeda* L. aos quatro e 14 anos de idade.

Os desdobramentos das épocas de avaliação (idade) dentro de cada espaçamento estão representados na Figura 8.

O crescimento em diâmetro apresentou comportamento logarítmico com elevado coeficiente de determinação, o que indica que o ajuste da curva de crescimento foi adequado. Através das curvas observa-se que no espaçamento 3,50x3,50m e 3,50x1,75m a taxa de crescimento em diâmetro ainda é alta aos 42 meses de idade, enquanto que nos espaçamentos 1,75x1,75m e 1,75x0,87 a taxa

de crescimento reduziu próximo aos 30 meses de idade. Com esse resultado, pode-se inferir que o estudo comprovou que o crescimento em diâmetro é uma característica altamente responsiva aos espaçamentos (BERNARDO, 1995).

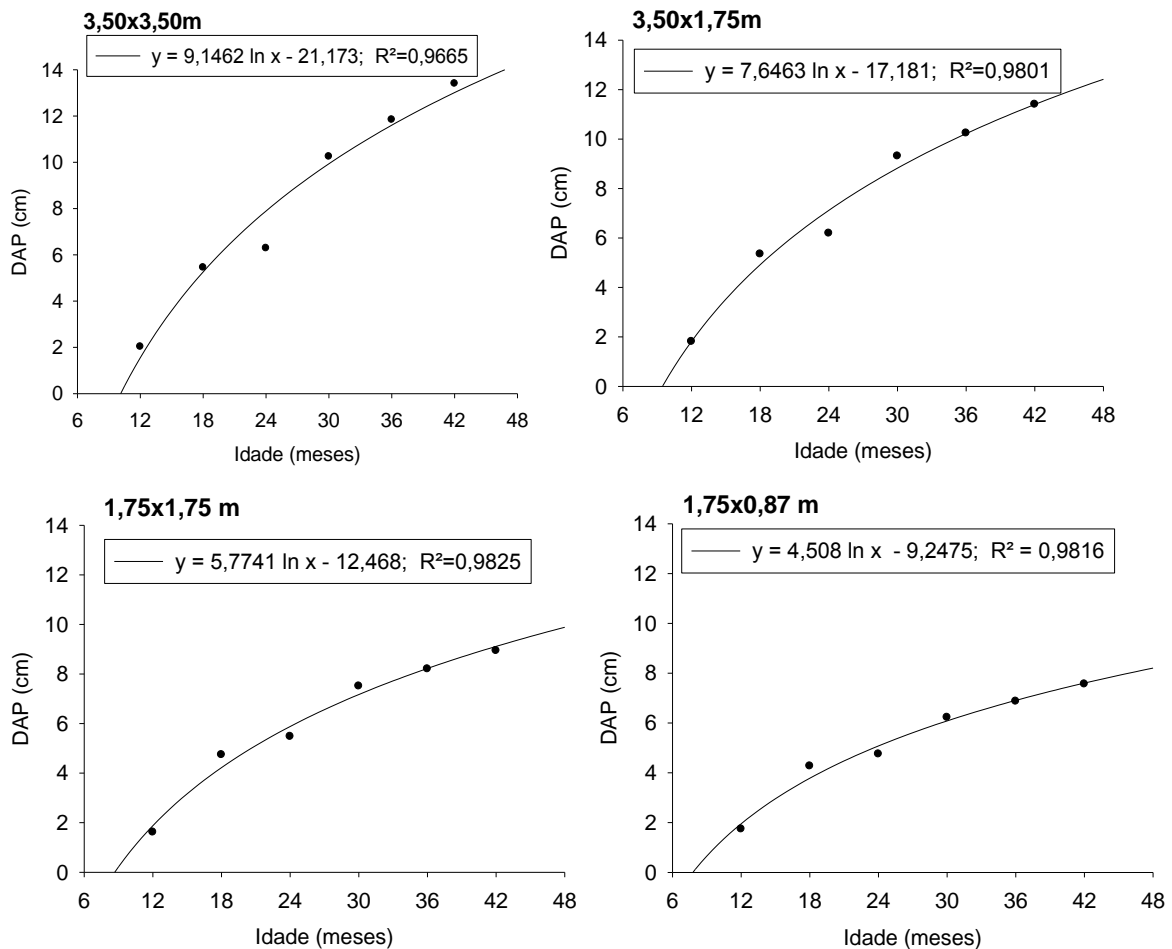


Figura 8– Diâmetro a altura do peito (DAP cm) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.

Em estudo realizado em povoamentos de *Pinus taeda* L para analisar os dados de um experimento sobre espaçamento inicial verificou-se que a estagnação do crescimento em diâmetro iniciou-se mais cedo nos menores espaçamentos, uma vez que esse crescimento é substancialmente afetado pela densidade (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006).

Ao analisar a altura das árvores nos diferentes espaçamentos, também se observa interação entre o espaçamento e idade. O crescimento das árvores em altura foi influenciado pelo espaçamento (Tabela 16), pois à medida que se reduziu o espaço para as árvores estimulou-se o crescimento em altura. Aos 18 e 30 meses de idade, as árvores mais altas foram observadas no espaçamento 1,75x0,87m que diferiu apenas do espaçamento 3,50x3,50m. Nas avaliações realizadas aos 24, 36 e 42 meses observou-se maior altura média no espaçamento 1,75x1,75m que diferiu apenas do 3,50x3,50m.

Tabela 16 – Altura média (m) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.

Espaçamento (m)	Idade (meses)					
	12	18	24	30	36	42
3,50X3,50	1,99 a	4,04 b	4,45 b	7,71 b	8,37 b	10,51 b
3,50X1,75	1,97 a	4,27 ab	4,65 ab	8,26 ab	8,74 ab	11,01 ab
1,75X1,75	1,93 a	4,60 ab	5,33 a	8,72 a	9,38 a	11,61 a
1,75X0,87	1,98 a	4,92 a	5,32 ab	8,89 a	9,32 a	11,26 ab

Médias seguidas por mesma letra em coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No presente estudo os valores da altura assemelham-se aos observados ao comparar três espécies de *Eucalyptus*, aos 41 meses de idade, em Minas Gerais, em que foram obtidas alturas de 10,4m, 8,4m e 12,1 m, para *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* respectivamente (BERNARDO et al., 1998).

Evidências de maior crescimento em altura em espaçamentos menores têm sido reportadas na literatura e confirmam as constatações de Oliveira et al. (2009); Kruschewsky et al. (2007); Bernardo (1995). No entanto, apesar da maior altura nos espaçamentos mais densos, ocorre uma diminuição nos valores de altura média das árvores com o passar do tempo, em razão do aumento do maior número de árvores dominadas (BERNARDO, 1995). Segundo o autor, existe certa controvérsia quanto aos reflexos sobre a altura das árvores na fase jovem do crescimento, pois há casos em que ocorre aumento da altura em espaçamentos maiores (OLIVEIRA NETO et

al., 2010). Um exemplo disso é o estudo que avaliou *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos de plantio, aos 74 meses de idade, em que houve a tendência de diminuição da altura média das árvores com a redução do espaçamento (BALLONI, 1983). Balloni e Simões (1980) também verificaram tendência em diminuir a altura média das árvores à medida que se diminuía o espaçamento. De acordo com os autores, a explicação para tal fato é que a diminuição do espaçamento proporciona, para muitas espécies, um aumento no número de árvores dominadas, as quais contribuem efetivamente para diminuição da altura média do povoamento.

O desdobramento das épocas de avaliação (idade) dentro de cada espaçamento para a altura demonstrou tendência de crescimento linear com alto ajustamento dos dados em todos os espaçamentos (Figura 9). Isso indica que as árvores apresentam, ainda, alto potencial de crescimento em todos os espaçamentos. Dessa maneira o efeito do espaçamento entre plantas pode se modificar ao longo do desenvolvimento da floresta.

O crescimento linear em altura também foi observado em *Eucalyptus grandis* implantado em espaçamento 3,0x3,0m até 40 meses de idade (PULROLNIK, 2002).

Para a área basal ocorreu interação entre o espaçamento e idade. O desdobramento da área basal dos espaçamentos de acordo com a idade pode ser observado na Tabela 17. Aos 12 meses de idade não se verificou diferença significativa entre os espaçamentos de plantio, enquanto que nas demais avaliações a maior área basal foi obtida pelo espaçamento 1,75x0,87m, a qual não diferiu do espaçamento 1,75x1,75m aos 18, 24 e 30 meses. A área basal maior nos espaçamentos mais densos é função do número de árvores por hectare que é maior nesses espaçamentos. Diversos autores relataram este tipo de comportamento (OLIVEIRA et al., 2009; BERNARDO et al., 1998).

A área basal observada no espaçamento 3,50x1,75m apresentou resultado semelhante ao encontrado por Bernardo et al. (1998) em estudo avaliando o crescimento em três espécies de *Eucalyptus*, cujos valores aos 41 meses de idade para *Eucalyptus urophylla* em espaçamentos 3,0x3,0 e 3,0x1,5m foi de 10,3 e 16,2 m² ha⁻¹, respectivamente.

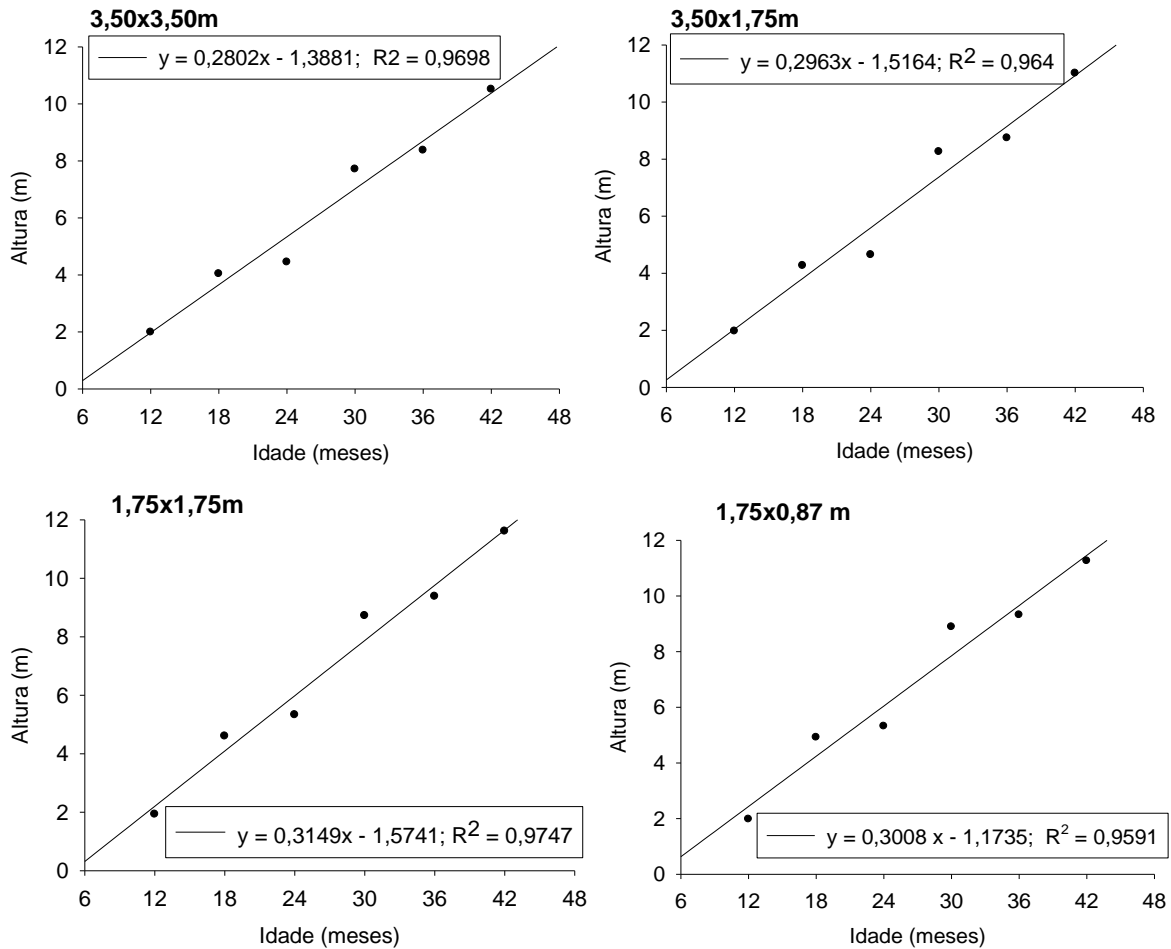


Figura 9 – Altura média de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes idades implantado em espaçamentos em Argissolo Vermelho Distrófico.

A Figura 10 representa o desdobramento das épocas de avaliação (idade) dentro de cada espaçamento para a variável área basal por hectare. A equação selecionada para representar o crescimento do *Eucalyptus dunnii* foi o modelo quadrático, sendo este o que apresenta melhor ajuste através do coeficiente de determinação. Observa-se que os espaçamentos 3,50x3,50m apresenta menor inclinação que o demais e 3,50x1,75m, isso indica o menor incremento em área basal com a idade, também pode-se visualizar que a partir dos 30 meses ocorre aumento na área basal por hectare, o que evidencia que, devido ao espaço disponível para as árvores, ocorre maior taxa de crescimento do povoamento.

Tabela 17 – Área basal média ($G\ m^2\ ha^{-1}$) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes idades implantado em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.

Espaçamento (m)	Idade (meses)					
	12	18	24	30	36	42
3,50X3,50	0,36 a	1,63 c	2,15 c	5,69 c	7,39 d	9,27 c
3,50X1,75	0,44 a	3,52 bc	4,63 bc	10,31 b	12,62 c	15,01 b
1,75X1,75	0,77 a	5,58 ab	7,30 ab	13,70 a	16,24 b	18,18 b
1,75X0,87	1,86 a	8,46 a	10,42 a	16,87 a	20,11 a	21,47 a

Médias seguidas por mesma letra em coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O espaçamento 13,50x1,75m apresentou a mesma taxa de incremento em área basal ao longo dos 42 meses avaliados, sendo que esta capacidade de incremento deve ocorrer nos próximos anos de crescimento.

Os espaçamentos 1,75x1,75m e 1,75x0,87m apresentaram elevada taxa de incremento em área basal durante o período estudado, até 42 meses de idade. Sendo que o pico de crescimento espaçamentos 1,75x0,87m ocorreu até os 36 meses de idade, havendo redução na taxa de crescimento na avaliação realizada aos 42 meses, mesmo sendo período de primavera-verão, favorável ao crescimento vegetal.

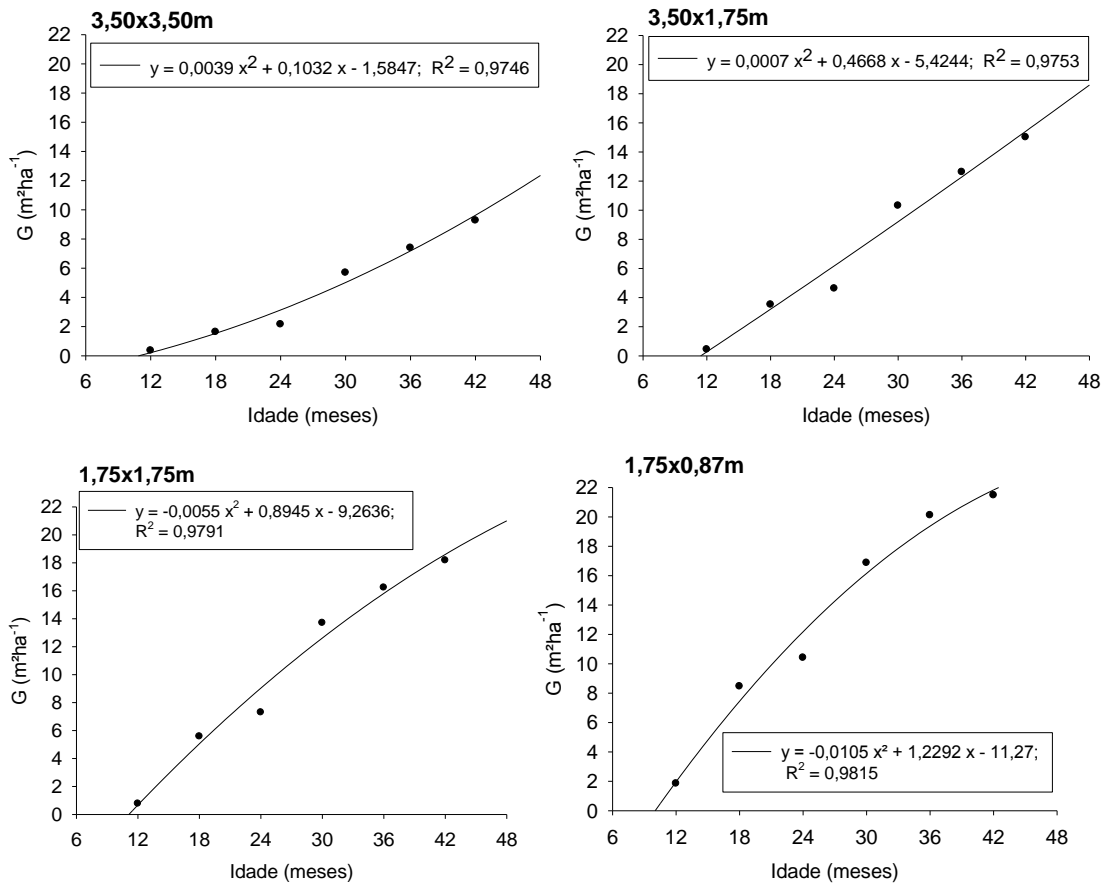


Figura 10 – Área basal média ($G m^2 ha^{-1}$) de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes idades implantado em diferentes espaçamentos de plantio em Argissolo Vermelho Distrófico.

5 CONCLUSÕES

O ciclo de cultivo do *Eucalyptus dunnii* interferiu na estrutura do solo, pois promoveu redução na agregação. A densidade aumentou após 24 meses e reduziu novamente aos 36 meses no espaçamento 3,50x3,50m camada 0,00-0,10m, a porosidade apresentou resultado inverso. A macroporosidade reduziu aos 24 meses e aumentou aos 36 meses nos espaçamentos 3,50x3,50m e 3,50x1,75m na camada 0,10-0,20m, já na camada 0,20-0,40m aumentou após 36 meses de cultivo do *Eucalyptus dunnii*. A microporosidade não foi afetada pelo cultivo. O espaçamento de plantio não alterou as propriedades físicas do solo aos 24 e 36 meses.

Nas propriedades químicas, o cultivo de eucalipto promoveu aumento (aos 24 meses) e posterior redução (36 meses) do pH em todas as camadas. Os teores de Ca e K nas camadas mais superficiais reduziram, enquanto que aumentou o teor de Ca nas camadas mais profundas. Também aumentou os teores de Mg em superfície e reduziu na camada 0,60-1,00m. Os teores de P reduziram no espaçamento 1,75x1,75m camada 0,00-0,10m e 0,20-0,40m. Os teores de N e C nas camadas superficiais (0,00-0,10m e 0,10-0,20), enquanto que na camada mais profunda (0,60-1,0m) o teor de C aumentou no espaçamento 1,75x0,87m. Não ocorreu diferença entre os espaçamentos de plantio para as propriedades químicas do solo analisadas.

O espaçamento não interferiu na sobrevivência das árvores. O crescimento em diâmetro foi estimulado pelos espaçamentos mais, enquanto que a altura ocorreu o contrário, em que o maior espaçamento (3,50x3,50m) obteve o menor crescimento em altura. Os espaçamentos mais densos apresentam área basal mais elevada em função do maior número de plantas, sendo a taxa de crescimento em área basal mais uniforme a observada no espaçamento 3,50x1,75m.

O espaçamento 3,50x1,75m, espaçamento padrão usado pela empresa, é considerado o melhor espaçamento, ou seja, o que apresentou uma boa taxa de crescimento e apresentou pouca alteração negativa nas propriedades do solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos com espécies florestais constituem avaliações em longo prazo, dessa forma, o trabalho de pesquisa encontra-se em andamento. Nesse sentido os resultados aqui apresentados não representam o ciclo final de rotação de uma floresta de eucalipto e trazem efeitos residuais da vegetação de campo existente antes da conversão para área para produção florestal, da fertilização aplicada e do tráfego de máquinas que ocorreram nas operações de preparo de solo e tratos culturais. Por tanto, aos 36 meses não se observa, ainda, efeito do eucalipto nas propriedades físicas e químicas do solo, e com a continuidade dos trabalhos espera-se responder os questionamentos pertinentes ao uso do solo com eucalipto, sobretudo a capacidade de suporte e comportamento dos solos arenosos na Campanha do Rio Grande do Sul.

Em próximos estudos recomenda-se a continuidade das avaliações das propriedades físicas e químicas até o final da rotação e em ciclos seguintes; estudos de ciclagem de nutrientes na biomassa vegetal; avaliação da taxa de deposição e/ou biomassa de serapilheira e velocidade de decomposição da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. ABRAF: Brasília, 2012. 150 p.

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

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, E. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 717-723, jul/ago. 2001.

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, jul/set. 1999.

ARAÚJO, E. A. de et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, jan/abr. 2012.

BALLONI, E. A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 588-592, 1983.

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. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 269-286.

BARROS, N. F.; COMMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região Tropical. In: ALVAREZ, V. H. et al. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2000. p. 487-592.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade do *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 53, p. 21-38, 2006.

BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de. **Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden em função da idade: 2 – micronutrientes.** IPEF, n. 20, p. 27-45, jun. 1980.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, n. 1-3, p. 1–13, May 1998.

BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais.** 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BERGER, R. Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização. 2000. 125 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

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, jan/fev. 2001.

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 263-267, fev. 1995.

BOCHNER, J. K. et al. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, jan/mar. 2008.

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, jun. 2002.

BRUN, E. J. et al. Variação da acidez do solo sob plantios de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes idades, na região central do Rio Grande do Sul. **Synergismus scyentifica UFTPR**, Pato Branco, v. 4, n. 1, 2009.

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.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p. 997-1003, out/dez. 1999.

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

DALBEN, A. D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um Cambissolo Háplico em floresta nativa e de *Pinus taeda*. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 29-37, jan/mar. 2008.

DAMBRÓS, C. Comparação da porosidade total, granulometria e condutividade hidráulica de amostra de solo em área florestada e de campo. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.1, n.4, p.566 – 577, jun. 2012.

DEDECEK, R. A. Meio físico para o crescimento de *Pinus*: limitações e manejo. In: SHIMIZU, Jarbas Y. **Pinus na silvicultura brasileira.** Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 75-109.

DICKINSON, G. A Guide to Establishing Hardwood Plantations for Landholders in the 700-1000 mm Rainfall Zone of South-East Queensland. Hardwoods Queensland, 2006. Disponível em: <http://www2.dpi.qld.gov.au/hardwoods/qld/7706.html>. Acessado em 24 dez 2009.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. **Defining soil quality for sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, n. 35).

EFFGEN, E. M. et al. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 375-381, set. 2012.

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.

EMBRAPA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Ministério da Agricultura – Programa Nacional de Pesquisa de Florestas – PNPF (EMBRAPA/IBDF). Curitiba, 1986. 89 p.

FERREIRA, C. A. et al. **Nutrição de pinus no sul do Brasil**: diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: Emprapa Florestas, 2001. (Embrapa Florestas. Documentos, 60).

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

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/Sep. 2008.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S. **Zoneamento Agroclimático do Eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e Edafoclimático na Região do Corede Sul – RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 87 p.

FLORES, C. A. et al. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p. 2164-2172, nov. 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, jul/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/jun. 1993.

FRAZÃO, L. A. et al. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.641-648, maio 2008.

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.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 8 p.

GOMES, A. S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. **Cultivar**. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=447>. Acesso em: 17 dez 2011 (Artigos Técnicos).

GONÇALVES, J., L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 1-45.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**, - Piracicaba: IPEF, 2000. p. 01-58.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 258, n. 1, p. 18–25, Jan. 2009.

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

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, set. 2011.

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

KASONGO, R. K. et al. Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. **Soil Use and Management**, Amsterdam, v. 25, p. 21–27, Mar. 2009.

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.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1979. 262 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.

LACLAU, J. P. et al. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 2 - Chemical composition of soil solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 180, n. 1-2, p. 527–544, July 2003.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, jul/ago. 2010.

LEE, D. et al. **Plantation species profile Dun's White Gum (*Eucalyptus dunnii*)**. 2006. Disponível em: <<http://www2.dpi.qld.gov.au/hardwoodsqld/12610.html>> Acesso em 07 de novembro de 2009.

LEITE, F. P. et al. Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 949-959, maio/jun. 2011.

LEITE, F. P. et al. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, maio/jun. 2010.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.603-612, Ago. 2006.

LEITE, F. P. **Relações nutricionais e alterações de características químicas de solos da região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto**. 2001. 82 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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, jul/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. S.; REIS, G. G. dos; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado-MG. **Scientia forestalis**. Piracicaba, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

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

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. 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.

LÚCIO, A. D. C. et al. Limites de precaução e de controle em análises nutricionais de espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 529-537, maio-jun. 2010.

MACEDO, R. L. G. et al. Potencial de estabelecimentos de clones de *Hevea brasiliensis* Muell Arg. (seringueira) introduzidos em sistema agroflorestal com *Bertholletia excelsa* Humb e Bompl (castanheira do Brasil) em Lavras, MG, In: Congresso Internacional sobre florestas, 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. p. 150-161.

MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 141-150, 2000.

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.

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

MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W.; SOBRINHO, J. M.; COUTO, H. T. Z. do. **Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado.** Piracicaba: IPEF, n.2/3, p.3-30, 1971.

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.

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.

MISHRAA, A.; SHARMAA, S. D.; KHAN, G.H. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis*. **Forest Ecology and Management.** v. 184, n. 1-3, p. 115-124. Oct. 2003.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: SBS, 2000. 112p.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região Noroeste do estado de Minas Gerais. Dissertação apresentada à Universidade.** 2006. 63 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.

MOTA, F. O. B. Physical quality of an oxisol under different uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n.6, nov/dez. 2012.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e balanço nutricional de 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/jun. 2005.

MURPHY, J. RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v 27, n. 12, p. 31-36, Mar. 1962.

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

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

NOVÁK, P.; VOPRAVIL, J.; LAGOVÁ, J. Assessment of the soil quality as a complex of productive and environmental soil function potentials. **Soil & Water Research**, v. 5, n. 3, p. 113–119, jul/set. 2010.

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

OLIVEIRA NETO, S. N. de et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27 n.1, p. 15-23, jan/fev. 2003.

OLIVEIRA, T. K. de. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, edição especial, n. 60, p. 1-9, dez. 2009.

OLIVEIRA, I. P. de et al. Considerações sobre a acidez dos solos de Cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.

PILLON, C. N. et al. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.3, mar. 2011.

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, jul/dez. 1990.

PORTUGAL, A. F. et al. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico tb distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 249-258, jan/fev. 2008.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

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

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e Cerrado no vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, n. 5 p. 1125-1136, Set/Out. 2009.

PULROLNIK, K. Crescimento, **dinâmica de copa e qualidade da madeira para serraria de clone de Eucalyptus grandis [HILL EX MAIDEN] submetido a desrama artificial**. 2002. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

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. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 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.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p.1931-1935, nov/ dez. 2006.

RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007, 362 p.

REZENDE, G. C. et al. **Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: IPEF, fev. 1981 (Circular Técnica, n. 130).

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**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul/ago. 2007.

RHOADES, C.; BINKLEY, D. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian Eucalyptus and Albizia plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, n. 1-3, Jan. 1996, p. 47–56.

RIGATTO, P. 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.

RODRIGUES, V. A. et al. Estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis*. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 523 - 533, out/dez. 2012.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695–1703, Apr. 2010.

SANTOS, D. C. dos et al. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1735-1744, set/out. 2011.

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

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.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SIMÕES, J. W. et al. **Crescimento e produção de madeira de eucalipto**. IPEF, Piracicaba, v.20, p.77-97, 1980.

SIQUEIRA, J. O. et al. Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems. **Plant Science**, v. 10, n. 1, p. 63-121, Jan/Feb. 1991.

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.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 205-274.

SOUZA, L. J. B. de; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Modelagem do material combustível superficial em povoamentos de *Eucalyptus dunnii*, em Três Barras, SC. **Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 231-245, jul/dez. 2003.

SPELTZ, R. M., MONTEIRO, R. F. R. *Eucalyptus dunnii* Maiden: perspectivas de sua introdução no Segundo Planalto Paranaense. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CELULOSE E PAPEL - SEMANA DO PAPEL, 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1982. 435 p. 5-19.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 10, p. 1684–1694, Oct. 2010.

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. et al. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em florestanativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 833-843, out/dez., 2012.

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.

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.

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.

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

VILAS BÔAS, O.; MAX, J. C. M.; MELO, A. C. G. de. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília, SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 63-72, jun. 2009.

WENDLING, B. et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, Mar. 2012.

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

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, set/out. 2004.

YAMASHITA, N.; OHTA, S.; HARDJONO, A. Soil changes induced by *Acacia mangium* plantation establishment: Comparison with secondary forest and Imperata cylindrical grassland soils in South Sumatra, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 254, n. 2, p. 362–370, Jan. 2008.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337 - 351, May 1936.

APÊNDICES

Apêndice A – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados do solo e da distribuição dos agregados classes de tamanho de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 meses.

Variável	Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10m		Camada 0,10-0,20m	
		Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
DMG	Espaçamento	1,922	0,1966	0,702	0,5744
	Bloco	0,594	0,6344	1,364	0,3147
AGRE1	Espaçamento	0,443	0,7278	0,185	0,9040
	Bloco	0,476	0,7070	1,285	0,3375
AGREG2	Espaçamento	0,016	0,9973	0,727	0,5611
	Bloco	0,776	0,5362	1,062	0,4124
AGREG3	Espaçamento	1,631	0,2501	0,186	0,9031
	Bloco	0,266	0,8485	0,262	0,8512
AGREG4	Espaçamento	0,612	0,6239	0,975	0,4466
	Bloco	0,571	0,6481	0,938	0,4618
AGREG5	Espaçamento	0,898	0,4790	0,372	0,7750
	Bloco	0,704	0,5731	1,100	0,3984

Apêndice B – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados do solo e da distribuição dos agregados classes de tamanho de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 36 meses.

Variável	Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10m		Camada 0,10-0,20m	
		Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
DMG	Espaçamento	0,759	0,5448	0,109	0,9526
	Bloco	0,438	0,7311	1,281	0,3388
AGRE1	Espaçamento	0,903	0,4768	0,106	0,9544
	Bloco	0,446	0,7260	1,484	0,2837
AGREG2	Espaçamento	0,607	0,6268	0,276	0,8414
	Bloco	1,533	0,2718	0,704	0,5734
AGREG3	Espaçamento	0,904	0,4763	0,460	0,7172
	Bloco	0,455	0,7200	2,467	0,1286
AGREG4	Espaçamento	0,737	0,5560	0,369	0,7774
	Bloco	0,264	0,8499	0,947	0,4580
AGREG5	Espaçamento	0,842	0,5046	0,025	0,9945
	Bloco	0,307	0,8196	1,414	0,3012

Apêndice C – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a densidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.

Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10 m		Camada 0,10-0,20m		Camada 0,20-0,40m	
	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
24 meses						
Espaçamento	0,766	0,5415	0,537	0,6686	0,816	0,5166
Bloco	0,633	0,6120	0,661	0,5966	1,736	0,2290
36 meses						
Espaçamento	0,551	0,6601	0,151	0,9262	1,150	0,3807
Bloco	0,817	0,5161	2,213	0,1561	2,470	0,1283

Apêndice D – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Porosidade Total de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.

Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10 m		Camada 0,10-0,20m		Camada 0,20-0,40m	
	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
24 meses						
Espaçamento	0,409	0,7504	0,632	0,6129	0,929	0,4658
Bloco	0,227	0,8751	1,737	0,2289	1,601	0,2565
36 meses						
Espaçamento	0,932	0,4642	0,297	0,8268	1,531	0,2724
Bloco	0,983	0,4431	2,465	0,1288	2,608	0,1159

Apêndice E – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Macroporosidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.

Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10 m		Camada 0,10-0,20m		Camada 0,20-0,40m	
	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
24 meses						
Espaçamento	0,329	0,8047	0,437	0,7318	1,102	0,3975
Bloco	3,929	0,0480	1,919	0,1971	2,966	0,0898
36 meses						
Espaçamento	1,155	0,3792	1,299	0,3334	1,207	0,3619
Bloco	0,620	0,6197	3,735	0,0541	2,250	0,1517

Apêndice F – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para a Microporosidade de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.

Fonte de Variação	Camada 0,0-0,10 m		Camada 0,10-0,20m		Camada 0,20-0,40m	
	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F	Fcalc	Pr>F
24 meses						
Espaçamento	0,867	0,4931	1,172	0,3733	1,292	0,3354
Bloco	4,600	0,0324	1,828	0,2122	9,175	0,0042
36 meses						
Espaçamento	1,110	0,3949	1,289	0,3364	1,106	0,3962
Bloco	5,712	0,0181	3,492	0,0631	3,271	0,0730

Apêndice G – F calculado e nível de significância do teste F da análise de variância para as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com eucalipto aos 24 e 36 meses.

Propriedades	24 meses		36 meses	
	Químicas	F _{calc}	Pr>F	F _{calc}
Camada 0,0-0,10 m				
pH	1,142	0,3835	1,142	0,3835
Ca	0,802	0,5234	0,804	0,5223
Mg	0,239	0,8671	0,239	0,8671
P	0,518	0,6800	0,518	0,6805
K	2,348	0,1407	2,348	0,1407
N	0,673	0,5896	0,266	0,8483
C	0,330	0,8037	0,337	0,7994
Camada 0,10-0,20 m				
pH	2,627	0,1143	0,645	0,6052
Ca	0,350	0,7905	1,460	0,2895
Mg	0,274	0,8429	0,354	0,7876
P	1,567	0,2640	0,941	0,4606
K	0,646	0,6047	3,433	0,0656
N	0,102	0,9571	3,000	0,0877
C	0,197	0,8962	2,228	0,1542
Camada 0,20-0,40 m				
pH	1,328	0,3249	1,151	0,3804
Ca	0,111	0,3249	3,187	0,0772
Mg	0,274	0,8429	0,593	0,6348
P	0,394	0,7602	1,195	0,3658
K	0,744	0,5526	0,347	0,7922
N	0,001	0,0009	3,000	0,0877
C	1,545	0,2691	4,216	0,0504
Camada 0,40-0,60 m				
pH	1,272	0,3414	4,363	0,0571
Ca	0,830	0,5099	0,737	0,5558
Mg	0,242	0,8649	0,821	0,5146
P	1,132	0,3870	4,234	0,0585
K	0,944	0,4594	0,243	0,8641
N	1,163	0,3762	1,000	0,4363
C	0,478	0,7052	0,110	0,9523
Camada 0,60-1,0 m				
pH	1,895	0,2010	2,769	0,1593
Ca	0,444	0,7275	1,297	0,3338
Mg	0,110	0,9524	1,846	0,2090
P	1,463	0,2888	2,269	0,1495
K	4,938	0,0569	0,419	0,7435
N	0,809	0,5202	1,727	0,2307
C	0,858	0,4972	1,530	0,2727