

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VALDECI CONSTANTINO

**EFEITOS DE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E EQUIPES DE
PLANTADORES NA ARQUITETURA DO SISTEMA RADICULAR E NO
CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* Linnaeus**

CURITIBA
2009

VALDECI CONSTANTINO

EFEITOS DE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E EQUIPES DE PLANTADORES NA ARQUITETURA DO SISTEMA RADICULAR E NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* Linnaeus

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa

Co-orientadores: Prof. Dr. Joel Maurício
Corrêa da Rosa

Dr^a. Luciana Duque Silva

CURITIBA
2009

Aos meus pais Dorvalino e Maria Isabel, que na sua simplicidade, sempre me apoiaram e incentivaram aos estudos.

A cada um dos meus irmãos, que da sua maneira, colaboraram para meu desenvolvimento pessoal.

À minha esposa Ana Maria, que me estimulou e ajudou nos vários momentos que precisei de apoio.

Por quem sou, por tudo que alcancei e por todo o amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, benção e proteção.

Ao professor Antonio Rioyei Higa que aceitou me orientar, pela paciência e pelas dicas que foram além da orientação e mostraram a importância de pensar e agir como engenheiro florestal, e que, além de auxiliarem na realização deste trabalho, com certeza ajudarão no meu desenvolvimento profissional.

Ao amigo Joel Maurício Corrêa da Rosa, que teve grande paciência ao ouvir os questionamentos de um leigo em estatística, quase sempre a distância e pela internet, fato que me leva a reforçar meus agradecimentos pela sua disposição em propor alternativas à execução deste trabalho.

À amiga e co-orientadora Luciana Duque Silva, que sempre atarefada, arrumou tempo para me auxiliar, sempre contribuindo com sugestões importantíssimas e pelo incentivo.

À Carmen, que apesar dos seus compromissos no LAMEF, sempre esteve disposta a me ajudar.

Aos colegas acadêmicos do LAMEF, Bruno, Douglas, Lucas, Thaís e Mariana, que me auxiliaram durante medição das árvores em campo.

Ao colega Tyszka, pelas sugestões durante a coleta dos dados.

À Paula pelo apoio e pela disposição em me ajudar.

Aos funcionários da COMFLORESTA: Cássio, Silvano, Adalberto, David e Francisca, pelo apoio na coleta, separação e limpeza do material.

Ao colega Josmar, também da COMFLORESTA, muito prestativo, que me recebeu, colaborou operacionalmente e ajudou na coleta dos dados.

Ao professor Antonio Carlos Nogueira pelo empréstimo da estrutura do laboratório de sementes para separação e limpeza do material coletado em campo.

Aos professores e amigos do Departamento de Estatística da UFPR, Mário, Jomar, Adilson, Fernando, que souberam ouvir e com paciência responderam às minhas dúvidas sobre estatística.

E por fim, à COMFLORESTA por ter permitido a avaliação do experimento planejado, estabelecido e mantido por sua equipe técnica, bem como pelo apoio operacional e logístico, sem o qual seria impossível a conclusão deste trabalho.

A todos meu muito obrigado!!!

RESUMO

Apesar dos avanços relacionados à produção de mudas florestais, vários problemas ainda persistem. Mudanças fora do padrão morfológico e/ou com idade passada da época do plantio, produzidas em recipientes inadequados, são alguns dos problemas que, somados às práticas inadequadas de plantio, podem conduzir a resultados insatisfatórios no campo. Este trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito da idade das mudas, do tipo de recipiente e da equipe de plantadores, no crescimento e na qualidade morfológica do sistema radicular das árvores de *Pinus taeda* aos 46 meses de idade. Foram avaliados oito tratamentos em esquema fatorial 2x4, sendo duas equipes de plantadores: 1. própria (treinada); 2. terceiro, e quatro métodos de produção de mudas: 1. tubetes de 55 cm³ (seis meses de idade); 2. tubetes de 55 cm³ (dez meses de idade); 3. tubetes de 126 cm³ (seis meses de idade); 4. mudas em raízes nuas (nove meses de idade). O experimento foi instalado em quatro blocos, sendo oito tratamentos e 25 plantas por parcelas. Os tratamentos foram aleatorizados nos blocos, onde foram medidas apenas nove plantas centrais de cada parcela. Foi adotada uma linha de bordadura externa no experimento. As mudas tiveram as alturas medidas logo após o plantio. Foram também avaliados o crescimento, o peso das raízes finas e a morfologia do sistema radicular aos 46 meses de idade. Utilizou-se cilindro amostrador para avaliar as raízes finas e retro-escavadeira para escavação e remoção do sistema radicular das plantas, avaliados posteriormente por meio de fotografias. Quando houve necessidade, os dados foram transformados, o efeito dos fatores, assim como as interações, foram testados por meio da análise de variância (ANOVA) e análise de covariância (ANCOVA) quando foi o caso. As correlações entre as variáveis morfológicas da parte aérea e do sistema radicular foram medidas pelo coeficiente de correlação de Spearman, cuja significância foi testada em todos os casos. Com base nos resultados das análises conclui-se que: o método de produção de mudas afeta o crescimento em DAP, altura e volume, mas não afeta o peso das raízes finas e a arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda* avaliadas aos 46 meses de idade; o método de produção M3 (recipientes de 126 cm³, mudas com 6 meses de idade) se destaca em termos de crescimento; as árvores originadas de mudas com seis meses e 10 meses de idade, produzidas em recipientes de 55 cm³, apresentam crescimento em DAP e altura semelhante, porém, o volume por parcela é diferente aos 46 meses de idade; as árvores originadas de mudas produzidas em recipientes de 126 cm³, com 6 meses de idade, apresentam melhor crescimento em DAP e altura das árvores e volume por parcela semelhante quando comparado com árvores originadas de mudas produzidas em recipientes de 55 cm³, de mesma idade, avaliadas aos 46 meses de idade; o treinamento oferecido às equipes de plantadores melhora a taxa de sobrevivência, por consequência, o volume por parcela. No entanto, é necessário ressaltar que, o excesso de pisoteio pode afetar o desenvolvimento da arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda*; o DAP apresenta alta correlação com o volume individual e o DAP médio da parcela apresenta correlação moderada com o volume médio da parcela, avaliados aos 46 meses de idade; a arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda* com 46 meses de idade pode ser avaliada por meio de escavação, com moderada precisão, atribuindo-se nota para a vista de topo, sem que haja a necessidade da remoção da árvore, reduzindo custo e tempo.

Palavras-chaves: mudas, recipientes, arquitetura de raízes, crescimento.

ABSTRACT

Despite the technological evolution on the forest tree seedlings production, there are several problems to be solved yet. Seedlings out of pre-established morphological standard and/or older than the age recommended for planting, seedlings grown in unsuitable containers are some of the problems which can result in unsatisfactory results on the field. This paper aimed to evaluate the effects of seedlings age, the effect of containers type and the planters team effects on the *Pinus taeda* trees growth and root system morphological architecture 46 months after their planting. Eight treatments were planted in a randomized block design distributed on a factorial design, with two planters team: 1. specially trained; 2. ordinary, and four seedling production methods: 1. plastic tubes of 55 cm³ (six months of age); 2. plastic tubes of 55 cm³ (ten months of age); 3. plastic tubes of 126 cm³ (six months of age); 4. bare root seedlings (nine months of age). The field trial was established on four blocks, with eight treats and 25 plants per plot. Treatments were randomized within blocks and data were collected only on the nine inner plants in each plot. A row of trees out of the blocks was planted as external border. Seedlings height was evaluated just after planted. Plot volume (survival, height, DBH-diameter at breast height), small root weight and root system architecture were evaluated at 46 months of age. A cylindrical sampler was used to collect small roots and a big tractor with special equipment used for digging was used to remove the whole root system. Architecture of each root system was classified based on the photograph analysis taken at three angles (front, side and from the top). When necessary, the data were transformed to attend the requirements of the analysis of variance (ANOVA) and analysis of covariance (ANCOVA). Spearman correlation was used to evaluate relations between traits. Based on the results observed, it was conclude that: the seedling production method affect the tree height and DBH growth (and volume per plot), but do not affect the small roots weight and the architecture of the root system of 46 months *P. taeda* trees; the method of production M3 (containers of 126 cm³, seedlings with 6 months of age) is better in terms of growth; trees originated from seedlings with six and ten months of age, grown in 55 cm³ containers, shown similar height and DBH at 46 months of age, but also shown different survival, which affect the total volume per plot; trees originated from six months of age seedlings grown in 126 cm³ containers shown better DBH and height growth, but similar volume per plot when compared with trees originated from same age seedlings grown in 55 cm³ containers; The training provided to teams of growers improves survival rate, therefore, the volume per plot. However, it should be emphasized that the excess of trampling can affect the development of the architecture of the root system of trees of *P. taeda*; DBH is highly correlated with individual tree volume and the mean DBH is medium correlated with mean plot volume at 46 months of age; the root system architecture of 46 months *P. taeda* trees can be evaluated by mean of excavation, with moderate accuracy, attributing it note to the view of top, without necessity removal the tree, reducing cost and time.

Key-words: seedlings, containers, root system architecture, growth.

LISTA DE SIGLAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais
ANCOVA – Análise de covariância
ANOVA – Análise de variância
BRDE – Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
CAGED - Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CAP – Circunferência a altura do peito
COMFLORESTA – Cia Catarinense de Empreendimentos Florestais
DAP – Diâmetro na altura do peito
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FIEP - Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FIERGS – Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul
FOB – *Free on board*
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
MTE - Ministério do Trabalho e Emprego
NCAS - National Carbon Accounting System
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO NATURAL E FISIOGEOGRÁFICA DO <i>P. taeda</i>	5
FIGURA 2 – ESQUEMA DEMONSTRATIVO DAS POSSÍVEIS FALHAS EM RELAÇÃO A UMA ÁRVORE BASE.....	45
FIGURA 3 – CILINDRO AMOSTRADOR DE RAÍZES FINAS.....	49
FIGURA 4 – POSIÇÃO DA AMOSTRAGEM (A); AMOSTRAGEM DAS RAÍZES FINAS – INTRODUÇÃO DO CILINDRO AMOSTRADOR (B); ABERTURA DE COVA LATERAL PARA RETIRADA DO CILINDRO (C).....	51
FIGURA 5 – PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DAS RAÍZES FINAS.....	52
FIGURA 6 – CONJUNTO DE PENEIRAS (A e B), AMOSTRA DE RAÍZES FINAS ANTES DA PRÉ-LIMPEZA (B), SEPARAÇÃO MANUAL DAS RAÍZES FINAS DO SOLO (C), RAÍZES FINAS SEPARADAS DO SOLO (D).....	53
FIGURA 7 – SECAGEM DAS RAÍZES FINAS EM ESTUFA PLÁSTICA.....	54
FIGURA 8 – LIMPEZA DAS RAÍZES FINAS EM LABORATÓRIO.....	55
FIGURA 9 – AMOSTRA DAS RAÍZES FINAS (A); PESAGEM DAS RAÍZES FINAS COM BALANÇA ANALÍTICA DE 4 CASAS DECIMAIS.....	55
FIGURA 10 – PREPARAÇÃO DAS ÁRVORES PARA REMOÇÃO.....	56
FIGURA 11 – ESCAVAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE ÁRVORES DE <i>P. taeda</i>	57
FIGURA 12 – DESTORROAMENTO DO SOLO COM AUXÍLIO DA CONCHA PARA FACILITAR A REMOÇÃO DO SISTEMA RADICULAR COM MÍNIMO DE DANOS.....	58
FIGURA 13 – REMOÇÃO DA ÁRVORE (A), MOVIMENTAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR PARA DESPRENDIMENTO DO SOLO (B).....	58
FIGURA 14 – LIMPEZA DO SISTEMA RADICULAR.....	59
FIGURA 15 – VISTA DA BASE.....	60
FIGURA 16 – VISTA FRONTAL.....	60
FIGURA 17 – VISTA LATERAL.....	61
FIGURA 18 – PADRONIZAÇÃO DAS NOTAS - SISTEMA RADICULAR DE QUALIDADE SUPERIOR (VISTA DA BASE - A; VISTA FRONTAL - B; VISTA LATERAL - C); SISTEMA RADICULAR DE QUALIDADE INFERIOR (VISTA DA BASE - D; VISTA FRONTAL - E; VISTA LATERAL - F).....	62
FIGURA 19 – ORGANOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DAS RAÍZES GROSSAS - VISTA DA BASE.....	63
FIGURA 20 – ORGANOGRAMA PARA AVALIAÇÃO DAS RAÍZES GROSSAS - VISTAS FRONTAL E LATERAL.....	64
FIGURA 21 – ORGANOGRAMA PARA ANÁLISE DAS RAÍZES PIVOTANTES.....	65

FIGURA 22 – REMOÇÃO DO SOLO E EXPOSIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE <i>P. taeda</i> (A e B).....	107
---	-----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAÇÕES DE PINUS NO BRASIL NO ANO DE 2006.....	8
GRÁFICO 2 – ALTURA MÉDIA DAS MUDAS DE <i>P. taeda</i> EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO, AVALIADAS LOGO APÓS O PLANTIO.....	74
GRÁFICO 3 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>P. taeda</i> AOS 46 MESES DE IDADE.....	77
GRÁFICO 4 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DA EQUIPE DE PLANTADORES.....	79
GRÁFICO 5 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E EQUIPE DE PLANTADORES.....	80
GRÁFICO 6 – MÉDIAS DE DAP DE <i>P. taeda</i> AOS 46 MESES DE IDADE, EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS.....	82
GRÁFICO 7 – MÉDIAS DE ALTURA DAS ÁRVORES DE <i>P. taeda</i> AOS 46 MESES DE IDADE EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS.....	84
GRÁFICO 8 – QUANTIDADE MÉDIA DE FALHAS POR TRATAMENTO.....	85
GRÁFICO 9 – MÉDIAS DE VOLUME POR PARCELA EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS.....	88
GRÁFICO 10 – MÉDIAS DE VOLUME POR PARCELA EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES.....	89
GRÁFICO 11 – DISTRIBUIÇÃO DAS NOTAS POR CLASSE – VISTA DA BASE.....	93
GRÁFICO 12 – MÉDIAS DE NOTAS DA VISTA FRONTAL EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES.....	95
GRÁFICO 13 – MÉDIAS DE NOTAS PARA A VISTA LATERAL EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES.....	98
GRÁFICO 14 – MÉDIAS DE NOTAS PARA VISTA LATERAL EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO E EQUIPE DE PLANTADORES.....	99
GRÁFICO 15 – DISTRIBUIÇÃO DAS NOTAS POR CLASSE – RAIZ PIVOTANTE.....	102

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1 – DADOS CLIMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE CAMPO ALEGRE – SC – MÉDIA DE 18,5 ANOS.....	42
TABELA 2 – DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	43
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PROPOSTA POR SANTOS (2007).....	71
TABELA 4 – MÉDIAS DE ALTURA DAS MUDAS APÓS O PLANTIO, DE SOBREVIVÊNCIA E DE VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DA PARTE AÉREA E RADICULAR DE <i>P. taeda</i> COM 46 MESES DE IDADE, PLANTADOS EM CAMPO ALEGRE – SC.....	72
TABELA 5 – ALTURA MÉDIA DAS MUDAS DE <i>P. taeda</i> AVALIADAS LOGO APÓS O PLANTIO.....	73
TABELA 6 – CLASSIFICAÇÃO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO SISTEMA RADICULAR DO <i>P. taeda</i> 46 MESES DE IDADE – VISTA FRONTAL.....	97
TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO SISTEMA RADICULAR DO <i>P. taeda</i> AOS 46 MESES DE IDADE – VISTA LATERAL.....	101
TABELA 8 – TABELA DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS ANALISADAS EM FUNÇÃO DAS FONTES DE VARIAÇÃO (MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS, EQUIPES DE PLANTADORES E INTERAÇÃO ENTRE ESTAS DUAS).....	104

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 DISTRIBUIÇÃO NATURAL DO <i>P. taeda</i>	5
2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA ESPÉCIE <i>P. taeda</i> NO BRASIL.....	6
2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS COMERCIAIS.....	11
2.3.1 Produção de mudas em raízes nuas.....	11
2.3.2 Produção de mudas em recipientes.....	13
2.3.2.1 Produção de mudas em tubetes.....	16
2.3.3 Substrato e nutrição.....	17
2.4 QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS.....	20
2.5 INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE PLANTIO NA ARQUITETURA RADICULAR DAS PLANTAS.....	24
2.6 SISTEMA RADICULAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS.....	26
2.6.1 Importância do sistema radicular no crescimento e produtividade da planta.....	28
2.6.1.1 Raízes finas.....	29
2.6.1.2 Raízes grossas.....	32
2.6.2 Sistema radicular do gênero <i>Pinus</i>	34
2.7 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR.....	35
2.8 AVALIAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE EXPERIMENTOS.....	38
2.8.1 Análise de covariância (ANCOVA).....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	43
3.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	44
3.4 COLETA DOS DADOS.....	44
3.4.1 Altura das mudas após o plantio.....	44
3.4.2 Sobrevivência.....	44
3.4.3 Avaliação de falhas.....	45

3.4.4 Crescimento em CAP, altura e cubagem aos 46 meses de idade.....	46
3.4.4.1 Circunferência na altura do peito (CAP).....	46
3.4.4.2 Altura das árvores.....	46
3.4.4.3 Cubagem das árvores de <i>P. taeda</i> aos 46 meses de idade.....	46
3.4.5 Cálculo do fator de forma para o <i>P. taeda</i> aos 46 meses de idade.....	48
3.4.6 Volume real estimado.....	48
3.4.7 Volume por parcela.....	49
3.4.8 Biomassa de raízes finas.....	49
3.4.8.1 Amostragem das raízes finas.....	49
3.4.8.2 Pré-limpeza das raízes finas.....	52
3.4.8.3 Limpeza e secagem das raízes finas.....	54
3.4.8.4 Pesagem da biomassa das raízes finas.....	55
3.4.9 Avaliação da arquitetura do sistema radicular.....	56
3.4.9.1 Seleção das árvores.....	56
3.4.9.2 Escavação e exposição das raízes grossas.....	56
3.4.9.3 Limpeza e identificação das raízes.....	59
3.4.9.4 Obtenção das fotografias.....	59
3.4.9.5 Atribuição de notas para a arquitetura radicular de plantas de <i>P. taeda</i> com 46 meses de idade.....	61
3.4.9.5.1 Avaliação da arquitetura radicular - vista da base.....	63
3.4.9.5.2 Avaliação da arquitetura radicular - vista frontal e lateral.....	64
3.4.9.5.3 Avaliação da arquitetura radicular - raiz pivotante.....	65
3.4.10 Classificação das notas atribuídas ao sistema radicular.....	65
3.5 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DE CRESCIMENTO E DO SISTEMA RADICULAR.....	66
3.6 ANÁLISE DE DADOS.....	66
3.6.1 Pressupostos para a ANOVA.....	66
3.6.2 Altura das mudas.....	66
3.6.3 Sobrevivência das plantas.....	68
3.6.4 Covariáveis “altura das mudas” e “total de falhas”	68
3.6.5 Análise de crescimento aos 46 meses de idade.....	69

3.6.5.1 DAP.....	69
3.6.5.2 Altura das árvores.....	69
3.6.5.3 Volume por parcela.....	69
3.6.6 Raízes finas.....	69
3.6.7 Raízes grossas.....	70
3.6.8 Análise de correlação entre as características morfológicas do <i>P. taeda</i>	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.1 ALTURAS DAS MUDAS APÓS O PLANTIO.....	73
4.2 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO AOS 46 MESES DE IDADE.....	76
4.2.1 Sobrevivência.....	76
4.2.2 DAP.....	81
4.2.3 Altura.....	83
4.2.4 Volume por parcela aos 46 meses.....	87
4.2.5 Raízes finas.....	91
4.2.6 Raízes grossas.....	92
4.2.6.1 Vista da base.....	92
4.2.6.2 Vista frontal.....	95
4.2.6.3 Vista lateral.....	98
4.2.6.4 Raiz pivotante.....	102
4.3 ANÁLISE GERAL ENVOLVENDO AVALIAÇÃO DAS MUDAS E DAS PLANTAS AOS 46 MESES DE IDADE.....	104
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	106
6 RECOMENDAÇÕES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	108
ANEXOS.....	123

1 INTRODUÇÃO

Originário do Hemisfério Norte, o *Pinus taeda* Linnaeus encontrou na Região Sul do Brasil condições ambientais favoráveis, que permitiram desenvolvimento superior ao de origem. Dos 6,0 milhões de ha de plantações florestais no Brasil, cerca de 1,8 milhões de ha são de pinus (JUSTEN e ANTÔNIO, 2008). Entre as espécies do gênero *Pinus*, o *P. taeda* se destaca pelo rápido crescimento e baixa exigência nutricional (PRITCHETT¹ e ZWINFORD, 1961, citados por MORO, 2005), pelas características tecnológicas da madeira (MORO, 2005) e ainda, pelos menores teores de resina, e por esta razão, é uma das espécies mais plantadas.

Dados do relatório brasileiro para o projeto da FAO “*Global Forest Resources Assessment - 2005*” indicavam que a área plantada de pinus no ano de 2005, havia alcançado cerca de 1,9 milhões de hectares. Deste total, de acordo com Ferreira (2005), havia uma área expressiva de mais de um milhão de hectares de plantações de *P. taeda*, conseqüência da sua importância na produção de papel e no mercado madeireiro no Brasil.

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2008), a área plantada de pinus diminuiu 1,4% no período de 2006 para 2007, passando de 1.824.269 ha para 1.808.336 ha. Porém, em contrapartida, o incremento médio anual passou de 35,0 m³/ha/ano em 2006 para 38,3 m³/ha/ano em 2007.

Mais do que o resultado de um típico avanço tecnológico, o incremento da produtividade acaba estimulando o setor florestal através das várias cadeias produtivas. Por esta razão, influencia social e economicamente toda uma região ou o país, exigindo, anualmente, grandes quantidades de mudas para reposição dos plantios antigos ou para implantação de novos plantios. Neste sentido, é importante destacar a grande responsabilidade do viveirista na questão da qualidade de mudas, pois, em suma, é a qualidade destas mudas, juntamente com a técnica de plantio e condições do sítio, que garantirão o sucesso do povoamento florestal, mantendo ou melhorando os atuais incrementos alcançados.

Em relação à qualidade, Brissette (1984) relaciona com base e opiniões de especialistas, duas formas de se avaliar as mudas: uma diz respeito à avaliação das

¹ PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. *Soil Science of America Proceedings*. Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

mudas no campo, em função do seu desempenho. A outra considera a avaliação ainda no viveiro, em função de alguns fatores, como, por exemplo: manejo das mudas, transporte e técnicas de plantio; pois estes podem afetar o desempenho da planta no campo. Do ponto de vista prático, as duas maneiras se complementam, pois o desenvolvimento da planta no campo pode ser afetado pelas práticas no viveiro e os procedimentos realizados ainda no viveiro podem afetar os resultados no campo. Assim, é importante isolar as várias possibilidades que conduzem à produção de mudas de má qualidade.

Nas últimas décadas, os viveiros passaram por profundas e significativas evoluções. A introdução de alternativas na formação de mudas florestais a partir da década de 1980, foram consideradas revolucionárias, pois até então, era essencialmente rústica, realizada através da semeadura em sacos plásticos ou outros recipientes de qualidade inferior. A produção em série, facilitada pela modulação e compartimentalização do viveiro, é um exemplo da evolução no sistema de produção de mudas. Esta configuração permitiu maior flexibilidade e eficiência para a maioria das atividades realizadas no viveiro, principalmente em relação às etapas iniciais de produção, como por exemplo, preparação e enchimento dos recipientes.

A utilização de tubetes de polietileno rígido no lugar dos sacos plásticos foi uma das mudanças que permitiram flexibilidade e eficiência nas etapas de produção. Isto resultou numa expressiva redução de custos, maiores rendimentos operacionais, além da grande melhoria na qualidade das mudas, pois a formação do sistema radicular e as condições fitossanitárias foram beneficiadas por possibilitar suas disposições em níveis mais elevados em relação ao solo, o que facilita até mesmo para o trabalho operacional, por melhorar as condições ergonômicas. Contudo, ainda é possível encontrar uma série de problemas durante o período de desenvolvimento da muda no viveiro. De acordo com Mattei (1994), apesar do avanço observado na produção de mudas na época, ainda persistiam alguns problemas operacionais, que poderiam influenciar no padrão de qualidade das mudas e, por consequência, o desenvolvimento da planta no campo. Dentre alguns destes problemas citam-se como exemplos: falta de padronização das mudas, época de expedição antecipada ou atrasada, tipo inadequado de recipiente, dentre outros. Estes problemas, atualmente, ainda são comuns em muitos viveiros.

De acordo com Carneiro¹ (1983), citado por Carneiro (1995), mudas de qualidade tem maior capacidade de suportar as adversidades do campo, podendo reduzir a frequência dos tratos culturais. Em geral, estas características estão fortemente ligadas com as habilidades de competir da árvore, onde o crescimento de uma planta em qualquer habitat, depende em grande parte do tamanho, forma, tipo e eficiência do sistema radicular.

De acordo com Coutts² *et al.* (1990) citado por Mattei (1994), é essencial o conhecimento da arquitetura do sistema radicular, pois permite que sejam entendidos os requerimentos ecológicos da espécie, bem como as práticas culturais necessárias ao bom desenvolvimento da planta.

Apesar do reconhecimento antigo da importância das raízes para o desenvolvimento das árvores, Friend³ (2000), citado por Grissom (2003), relatou a falta de compreensão e de estudos mais profundos sobre as propriedades fisiológicas e genéticas das raízes. A necessidade de remoção da planta e o esforço exigido para esta operação, além do tempo despendido para o estudo do sistema de radicular, podem ser as principais razões de ter havido relativamente poucas pesquisas nesta área, quando comparada com a parte aérea das árvores.

Ao estudar o sistema radicular, Aphalo e Rikala (2003) citaram que o tamanho e a forma dos recipientes são os responsáveis pela alteração morfológica das raízes.

Leles *et al.* (2006) listaram em seu trabalho algumas limitações para o desenvolvimento das raízes, quase sempre atribuindo aos recipientes.

De acordo com Grissom (2003), no início do crescimento e estabelecimento da árvore, é importante que o sistema radicular seja vigoroso, isto permite a absorção e armazenamento de recursos do solo.

O sistema radicular, geralmente, apresenta arquitetura composta por raízes com diferentes funções; por exemplo, as raízes finas são responsáveis pela absorção de nutrientes, água e sais minerais; já as raízes grossas lenhosas são

1 CARNEIRO, J. G. A. **Variações na metodologia de produção de mudas florestais afetam os parâmetros morfofisiológicos que indicam sua qualidade.** Série Técnica FUPEF, n. 12, p. 1-40, maio 1983.

2 COUTTS, M. P.; WALKER, C.; BURNAND, A. C. Effects of establishment method on root form of Lodgepole Pine and Sitka Spruce an on the production of adventitious roots. *Forestry*, v. 63, n. 2, p. 143-159, 1990.

3 FRIEND, A. L. Applications of belowground forest biology. *Journal of Sustainable Forestry*, Vol. 10, p. 199-212, 2000.

responsáveis pelo armazenamento de carbono, nutrientes de reserva e, principalmente, pela ancoragem da árvore.

A busca pelo método de produção de mudas que propicie bom desenvolvimento da arquitetura das raízes deve ser constante. A princípio, mudas morfológicamente bem desenvolvidas e técnicas de plantio adequadas tendem a proporcionar desenvolvimento satisfatório para as mudas e, conseqüentemente, para a árvore.

Posto isso, este trabalho procurou avaliar um plantio experimental de *P. taeda* com 46 meses de idade, com os seguintes objetivos:

- a) **Objetivo geral:** Avaliar o efeito da idade das mudas, do tipo de recipiente e das equipes de plantadores no crescimento e na qualidade morfológica das raízes de *P. taeda* aos 46 meses de idade.

- b) **Objetivos específicos:**
 - 1) Avaliar as relações entre a altura das mudas e as variáveis indicadoras de qualidade morfológica do sistema radicular (arquitetura da vista da base da árvore, da vista frontal, da vista lateral e da raiz pivotante, com base nas notas atribuídas para espessura, distribuição, densidade e deformação das raízes), e o crescimento das árvores de *P. taeda* aos 46 meses de idade.

 - 2) Avaliar as relações entre as variáveis indicadoras de qualidade morfológica do sistema radicular e o crescimento das árvores de *P. taeda* aos 46 meses de idade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DISTRIBUIÇÃO NATURAL DO *Pinus taeda*

Pinus taeda Linnaeus é natural das regiões sul e sudeste dos Estados Unidos, ocorrendo entre as Latitudes 28° e 39° Norte e Longitudes 75° a 97° Oeste. De acordo com Baker e Langdon (1990), *P. taeda* é uma espécie que se adapta a vários tipos de habitats e a uma grande variação ambiental, o que permitiu sua distribuição natural em 14 estados (FIGURA 1). A espécie foi introduzida em outros continentes com variados graus de sucesso.

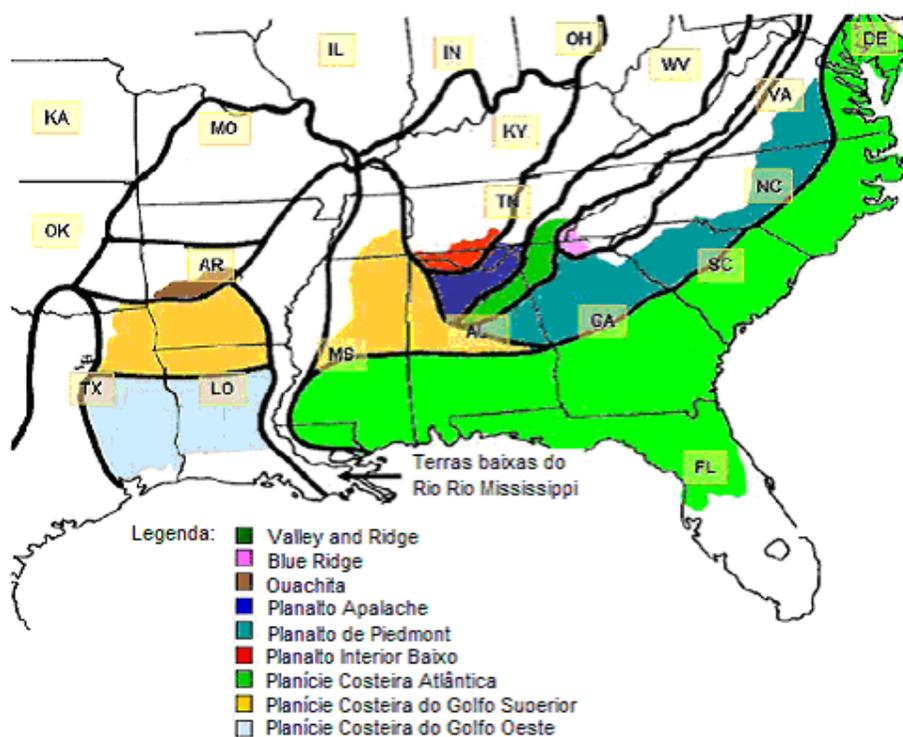


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO NATURAL E FISIOGEOGRÁFICA DO *P. taeda*

FONTE: Adaptado de Nelson e Zillgitt (1969)

De acordo com Shimizu (2005), em toda a região de ocorrência de *P. taeda*, o clima é úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos. A precipitação média anual varia de 1.020 mm a 1.520 mm e o período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte até dez meses, na parte costeira sul. As temperaturas

médias anuais variam de 13 °C a 24 °C, podendo chegar à mínima extrema de -23 °C. *P. taeda* se desenvolve em solos moderadamente ácidos, com drenagem superficial e de fertilização baixa, com camada superficial de textura média e subsolo de textura fina (FOWELLS, 1965). Sua altitude de origem vai desde o nível do mar até 2.500 m, ocasionalmente até 4.500 m (KRONKA *et al.*, 2005).

Na América do Sul, onde não existe ocorrência natural de *P. taeda*, esta espécie se desenvolve melhor entre as latitudes de 24° Sul e 32° Sul, em altitudes entre 500 m e 1.500 m . Trata-se de uma espécie exótica no Brasil, que, apesar das restrições ambientais, é plantada em extensas áreas, principalmente na Região Sul. Shimizu (2005) complementa que, no Brasil, esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de água, solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Esta condição é encontrada em todo o planalto das Regiões Sul e Sudeste; isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO *P. taeda* NO BRASIL

No Brasil, os primeiros plantios comerciais em larga escala com *P. taeda* iniciaram-se por volta da década de 1960. Na década de 1970, em função da concessão de incentivos fiscais às florestas plantadas, chegou-se a conclusão de que, pelo clima, solo e condições atmosféricas do país, o plantio de espécies produtivas como o *P. ellioti* e de *P. taeda* seria a melhor opção para se obter resultados econômicos rentáveis. Desta maneira, a maioria dos incentivos foi direcionada para o plantio dessas espécies, fazendo com que o pinus, na década de 80 e 90, viesse a substituir a Araucária que se tornou escassa na região sul do país (ZEE-MS – Zoneamento Ecológico Econômico do Mato Grosso, 2008).

Um dos motivos para a introdução do gênero *Pinus* no Brasil, foi a necessidade da produção de madeira para abastecimento industrial, principalmente celulose (MAPA, 2007); entretanto, de acordo com Moro (2005), devido ao crescimento da demanda e a forte pressão pela preservação das florestas nativas, sua produção também se voltou a atender a demanda por madeira serrada e laminação. Outro fator que foi considerado para a introdução do *P. taeda* no Brasil,

foi o rápido crescimento da espécie. Segundo Celso (2006), o *P. taeda* plantado é tão satisfatório quanto a maioria das gimnospermas e, dependendo do sítio, duplicam ou triplicam a produção, o que torna a espécie muito atrativa.

De acordo com Bognola (2007), os plantios iniciais, feitos com sementes sem controle de qualidade, normalmente coletadas de povoamentos de baixa qualidade nas origens, resultavam em povoamentos de má qualidade de fuste e ramos, apesar do vigor e da alta produção de biomassa lenhosa.

Ferreira (2005) comenta que as plantações inicialmente estabelecidas no sul do Brasil, foram formadas a partir de sementes importadas de diversas regiões do sul dos Estados Unidos, principalmente da Flórida, Geórgia, Alabama, Louisiana, Mississippi, Carolina do Sul e Carolina do Norte. No final da década de 1970, ocorreu também, introdução de material genético de pomares clonais da África do Sul, que foram constituídos de material genético proveniente de programas de melhoramento dos Estados Unidos. Devido à diversidade de origem do material genético utilizado na composição dos povoamentos, esses plantios se tornaram as principais fontes de genótipos selecionados em programas locais de melhoramento da espécie.

De acordo com a ABRAF (2008), ao longo das últimas décadas, os ganhos em produtividade volumétrica, resultantes dos trabalhos de pesquisa e melhoramento genético, aumentaram bastante. Os plantios de pinus apresentaram ganhos expressivos de produtividade neste período, passando de 25 m³/ha/ano em 1990 para 30 m³/ha/ano em 2006, representando um crescimento de 20%. Porém, em determinados sítios e dependendo da espécie, a produtividade pode alcançar até 45 m³/ha/ano. Os ganhos de produtividade são resultados dos investimentos aplicados em pesquisa e desenvolvimento no país, e, de acordo com Tiarks *et al.* (1998), esta produtividade precisa ser sustentável ou aumentada, devido aos altos investimentos iniciais de capital e recursos.

A adaptação a solos ácidos, característicos na maioria dos solos dos planaltos do sul do Brasil, de acordo com Kronka *et al.* (2005), permitiu a implantação de grandes áreas de reflorestamento com *P. taeda*, que, juntamente com o manejo adequado, tornou essa espécie uma importante fonte de matéria prima, estabelecida de acordo com padrões de sustentabilidade.

As áreas de maior potencial de crescimento para o *P. taeda*, em função das condições climáticas, estão localizadas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Em 2006, do total de 5.373.417 ha de pinus e eucaliptos plantados no Brasil, mais de 1,8 milhões de hectares correspondiam ao plantio de pinus (GRÁFICO 1), sendo que, deste total, 1,4 milhão de hectares estavam localizados na região sul (ABRAF, 2008).

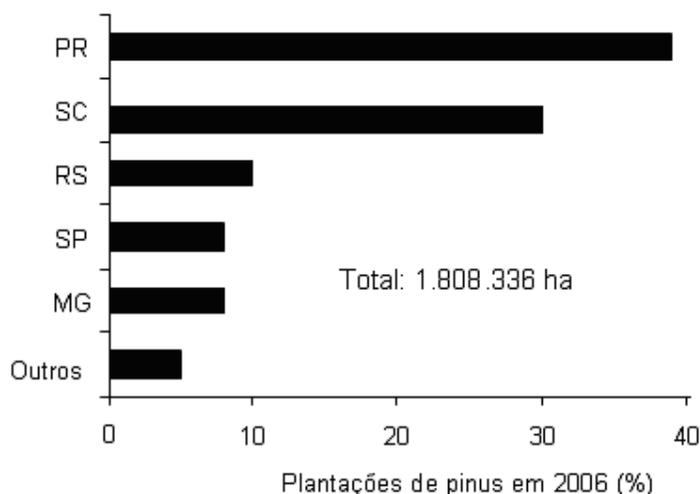


GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAÇÕES DE PINUS NO BRASIL NO ANO DE 2006

FONTE: Associadas da ABRAF, STCP (2008), adaptado pelo autor.

O Gráfico 1 mostra que a maior área plantada de pinus no ano de 2006 se concentrou na Região Sul do Brasil, com destaque para os estados do Paraná e Santa Catarina. Estes dados foram apresentados também por Ferreira (2005), que relatou mais de 1 milhão de hectares como sendo plantações de *P. taeda*, localizada principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde o estado do Paraná contava com 600 mil hectares de plantio, Santa Catarina com 350 mil e Rio Grande do Sul com 130 mil hectares. Esta expressiva área de plantações com *P. taeda* é consequência da sua importância na produção de papel e celulose e no mercado madeireiro no Brasil, gerando contribuições importantes, tanto no aspecto social, quanto no econômico.

De acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE¹ (2002), citado por Polzl *et al.* (2003), no Paraná, a importância da cadeia produtiva da madeira podia ser constatada pela grande quantidade de indústrias de base florestal existente no Estado, onde representava cerca de 2,6% do total de empresas e

¹ MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE, 2002). Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível em: <<http://www.mtb.gov.br/Temas/RAIS/default.asp>> Acesso em 01/02/2002.

gerava 3,8% do total de empregos no estado. Além disso, de acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (2002), durante o ano de 2001, as exportações desta cadeia produtiva como um todo (madeira e papel), representou 12% do valor total da exportação, que foi de US\$ 5,3 bilhões FOB (Free On Board ou Preço sem Frete Incluso (posto a bordo)), com a madeira se posicionando em segundo lugar, com 9,3% (US\$ 493,7 milhões FOB).

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Paraná – FIEP, em 2002, os principais pólos de produção de madeira serrada eram as microrregiões de Curitiba (764 empresas), Guarapuava (377 empresas), União da Vitória (286 empresas) e Ponta Grossa (219 empresas). Existiam naquele ano, no segmento da madeira serrada, 3.789 empresas, gerando 38.583 empregos diretos. Deste total, a indústria de primeira transformação possuía 2.864 empresas (75,6% do total do segmento), gerando 30.450 empregos diretos (78,92% do total do segmento), enquanto que a indústria de segunda transformação possuía 925 empresas (24,4% do total do segmento), gerando 8.131 empregos diretos (21,07%). As serrarias eram em maior número e equivaliam a 70% das empresas da cadeia produtiva no Estado, gerando cerca de 29.500 empregos (76,55% da cadeia). Naquele ano, a quantidade média de empregados por empresa, na primeira transformação, era de 10,6 empregados/empresa e na segunda transformação, era de 8,8 empregados/empresa, demonstrando a existência de grande número de micro e pequenas empresas.

No aspecto social, de acordo com o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), utilizando dados compilados pela AGEFLOR (2008), a produção florestal no Rio Grande do Sul, gerou 100.372 empregos no período de janeiro de 2003 a janeiro de 2007, equivalente a 2,91% dos empregos gerados no período. Isto significa que, a cada ano, foram gerados, em média, 25.093 empregos no setor florestal daquele estado.

Em relação à cadeia produtiva de móveis e indústrias diversas, a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2008) cita alguns números obtidos por meio de entidades ligadas ao setor. Por exemplo, houve a geração 40.023 empregos, em 4.148 indústrias instaladas no Rio Grande do Sul; e, no aspecto econômico, fazendo um comparativo entre os anos de 2002 e 2007,

somente no setor de moveleiro, houve faturamentos de R\$ 2,5 milhões e R\$ 3,2 milhões respectivamente.

Além dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, Santa Catarina também apresentou grande progresso social e econômico.

De acordo com o Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE), em 2004, a cadeia produtiva de base florestal catarinense era representada por 4.639 empresas e empregava diretamente 82.322 trabalhadores, participando em 2001, com 2,5% na geração do ICMS, mediante uma arrecadação equivalente a R\$ 82,6 milhões; e exportou cerca de US\$ 860.3 milhões no ano de 2003, correspondendo a 23,2% das exportações de Santa Catarina. Além disso, consome, anualmente, aproximadamente 15,6 milhões de m³ de madeira, ou o equivalente a 55 mil ha/ano. Desse total, 6,7 milhões de m³/ano são direcionados para a fabricação de celulose e pastas de alto rendimento, 4,4 milhões m³ são utilizados pelas serrarias na produção de madeira serrada, 1,6 milhões m³ na produção de chapas compensadas; 1,2 milhões m³ pelo setor moveleiro e o restante é consumido na produção de energia e outras atividades (BRDE, 2004). É importante ressaltar que, o desempenho produtivo ocorrido na região sul é atribuído ao *P. taeda*, por ser a espécie mais plantada nos três estados.

Em relação ao consumo no Brasil, a quantidade de madeira em toras de pinus para uso industrial foi de 52,8 milhões de m³ em 2006, e a expectativa é de que a demanda continue a crescer (ABRAF, 2008). É importante destacar que o *P. taeda* tem sido o principal foco de exploração florestal sustentável no sul do Brasil por várias empresas do setor, conseqüentemente, sendo alvo de intensos programas de melhoramento florestal.

A grande extensão das áreas com plantações florestais, formadas a partir de sementes originadas de inúmeros programas de melhoramento, colocam o *P. taeda* como uma das espécies da região sul mais promissoras em termos de produtividade. No entanto, considerando-se que os novos plantios venham a utilizar sementes obtidas por meio do melhoramento genético, deve-se priorizar métodos de produção de mudas e técnicas de plantio adequados à espécie, visando garantir o aumento da produtividade. Neste sentido, é importante destacar o papel do viveirista neste processo, pois a produção de mudas se caracteriza como uma das etapas mais importante dentro de um planejamento de produção.

2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS COMERCIAIS

A produção de mudas é uma das etapas fundamentais no processo de implantação de uma floresta e poderá ser determinante para o sucesso do empreendimento florestal. As técnicas de produção de mudas devem atender às necessidades do viveirista, levando-se em consideração a disponibilidade e a localização da área, o grau de tecnologia e os recursos financeiros disponíveis (FERRARI e SHIMIZU, 2005).

A produção mais uniforme de mudas, com menor variação nos parâmetros morfológicos, além de facilitar a mecanização em qualquer estágio, desde as operações de viveiro até o plantio, reduz a necessidade de classificação de mudas (CARNEIRO, 1995). Por esta razão, muitos trabalhos de pesquisa têm abordado a qualidade das mudas, procurando definir os melhores tipos de recipientes e substratos, adequando-os à produção de mudas de qualidade desejável (SANTOS *et al.*, 2000).

A busca por mudas de melhor qualidade procura reduzir os custos, tanto das operações em viveiro, quanto durante e após o plantio. Estes custos podem ser reduzidos quando se alcança alta taxa de sobrevivência das mudas, pois não haverá necessidade de replantio e conseqüentemente, custos extras no viveiro e de replantio não existirão. Porém, o aumento da taxa de sobrevivência das mudas no campo é influenciado pelo modo como as mudas são produzidas no viveiro. De acordo com Freitag (2007), fatores como quantidade de água, luminosidade, temperatura e umidade, muitas vezes, são determinantes para o desenvolvimento satisfatório no viveiro e no campo. Deve-se salientar que o tipo e o tamanho do recipiente utilizado são tão importantes como esses outros fatores, porque podem determinar a morfologia do sistema radicular e influenciar o desenvolvimento da planta.

2.3.1 Produção de mudas em raízes nuas

Como o próprio nome diz, as mudas em raiz nua são as que não possuem proteção do sistema radicular no momento do plantio.

A utilização deste sistema no Brasil está limitada a poucas regiões e, por isso, não é uma técnica bem difundida. No sul do país, pode ser encontrada com mais frequência onde as condições climáticas são mais favoráveis, principalmente para o pinus (SCHORN e FORMENTO, 2003).

As mudas são produzidas no próprio solo do viveiro. No momento que antecede a instalação dos canteiros, deve-se preparar a área a fim de melhorar as propriedades físicas do solo. Por isto, deve-se arar e gradear até uma profundidade de pelo menos 0,25 m. O emprego de enxada rotativa é, na maioria das vezes, indispensável para se destorroar os torrões maiores. Neste período, também se efetua a correção da acidez do solo e a aplicação de adubos, antecedidas de uma análise do solo. O fertilizante, bem como a matéria orgânica, são aplicados à lança sobre toda a área do viveiro e incorporados por ocasião da aração e gradagem (SCHORN e FORMENTO, 2003).

De acordo com Carneiro (2007), altas densidades de mudas em raízes nuas devem ser evitadas, uma vez que, não estimulam adequadas condições de crescimento, causando efeitos negativos na qualidade das mudas. O autor ainda cita que as mudas em raízes nuas devem ser cultivadas usando uma densidade de 278 mudas/m² para se obter mudas de alto padrão de qualidade. Simões (1987) cita valores próximos para densidade de mudas em raízes nuas. O autor afirmou que, ao utilizar uma densidade de 250 mudas/m², se obtém 95% de mudas de primeira, com 98% de pegamento no campo.

Carneiro (1995) cita alguns cuidados que se deve ter durante o processo de colheita e armazenamento das mudas. Segundo o autor, deve-se evitar insolação direta ou, mesmo vento no sistema radicular. Após a retirada, as mudas devem ser ordenadas em grupos, com material úmido, geralmente "*sphagnum*" (musgos de turfeiras), envolvendo as raízes, antes da expedição para o plantio.

De acordo com Schorn e Formento (2003), o plantio deve ser realizado em período chuvoso e em dias nublados, frios e úmidos, de forma a diminuir a taxa de transpiração e propiciar suficiente umidade às raízes. Por estes dados, verifica-se que a técnica tem uso limitado, principalmente no Brasil, em razão do clima tropical. Os autores ainda afirmam que, praticamente, todas as operações podem ser mecanizadas, o que diminui em muito a mão-de-obra e, conseqüentemente, o custo de produção. Relacionam também, as vantagens e desvantagens do uso de mudas em raízes nuas:

Vantagens:

- grande produção por área;
- mecanização de praticamente todas as operações;
- não há restrição para desenvolvimento radicular;
- custo reduzido.

Desvantagens:

- prática restrita a poucas regiões;
- necessidade de cuidados especiais durante a retirada das mudas, o armazenamento e o plantio;
- raízes desprotegidas na hora do plantio;
- plantio restrito ao dias chuvosos, nublados e frios.

2.3.2 Produção de mudas em recipientes

A produção de mudas de espécies florestais em recipientes começou a ter maior importância em várias partes do mundo a partir de meados de 1970. Muitas pesquisas foram realizadas com relação à tipos e tamanhos de recipientes, substratos e manipulação do material, avaliando as respostas no campo. Notáveis avanços foram conseguidos, sendo que as principais razões do uso dessa tecnologia se devem aos maiores índices de sobrevivência e desenvolvimento das plantas após plantio. Neste caso, o sistema radicular sofre menos danos durante o plantio, podendo até ser prolongada a data de plantio (DANIEL¹ *et al.*, 1982, citado por GOMES *et al.*, 2003).

Mesmo tendo havido evoluções nas técnicas de produção de mudas, Mattei (1994) citava que muitos problemas ainda persistiam e precisavam ser solucionados. De acordo com o autor, os problemas estavam ligados à produção de mudas em recipientes e à formação do sistema radicular da muda. No entanto, estes problemas não foram suficientes para inibir o uso dos recipientes. Platt² e Opitz (2003) citados por Nicoloso *et al.* (2000) relataram as vantagens do uso de recipientes, dentre as

1 DANIEL, T.; HELMS, J.; BACKER, F. **Princípios de silvicultura**. 2.ed. México: McGraw-Hill, 492 p. 1982.

2 PLATT, R. G.; OPITZ, K. W. The propagation of citrus. In: PLATT, R. G., OPITZ, K. W.; JORDAM, L. S. **The citrus industry**. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Sciences, Cap. 1., p. 1-47, 1973.

quais: a) controle eficaz de fungos e nematóides; b) possibilidade de acelerar o processo de produção de mudas, através do uso de substratos específicos; c) bom controle da condição nutricional; d) obtenção de mudas com sistema radicular bem desenvolvido, sem traumatismos e lesões; e) facilidade no transporte; e f) aumento do número de plantas por área. Dentre as vantagens citadas pelos autores, algumas são limitadas pela escolha do tipo e tamanho dos recipientes, pois podem prejudicar a formação e o desenvolvimento do sistema radicular.

Muitos são os autores que se posicionam favoráveis ao sistema de produção de mudas em recipientes, comparativamente ao sistema em raiz nua. As dimensões dos recipientes e o volume destinado ao enraizamento influenciam na disponibilidade de suprimento de nutrientes e água. As mudas terão seu desenvolvimento afetado, caso esta disponibilidade seja muito limitada ou presente em quantidades consideradas excessiva (BÖHM, 1979).

É de grande importância o estudo das dimensões adequadas dos recipientes. Volume acima do recomendado provoca gastos desnecessários, como o aumento da área do viveiro e dos custos de transporte e, ainda, de manutenção e distribuição das mudas no campo (GONZALEZ ROQUE *et al.*, 1988).

De acordo com Schmidt-Vogt¹ (1984), citado por Novaes *et al.* (2001), deve-se produzir mudas sem deformações radiciais, visando alcançar maiores incrementos médios anuais.

Carneiro² (1987), citado por Gomes *et al.* (2003) observou que os tipos de recipientes e suas dimensões exercem influência sobre a qualidade das mudas de espécies florestais e também sobre os custos de produção. O autor ainda lembra que os recipientes não deveriam provocar danos às raízes.

Os recipientes devem respeitar as características biológicas das espécies, não provocando danos à conformação das raízes, para que sejam alcançados bons índices de sobrevivência e desenvolvimento após o plantio. A restrição do sistema radicular imposta pelos recipientes, segundo Carneiro (1995), pode diminuir a resistência à desidratação, com prejuízo para sua condição hídrica. A orientação

¹ SCHMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E CONTROLE DE QUALIDADE DE SEMENTES E MUDAS FLORESTAIS (1984.: Curitiba). **Métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, FUFPEF, p. 366-378, 1984.

² CARNEIRO, J. G. A. Influência de recipientes e de estações de semeadura sobre o comportamento do sistema radicular e dos parâmetros morfológicos de mudas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, 81 p. 1987.

horizontal das raízes laterais foi ressaltada, tendo em vista que alguns problemas após o plantio podem estar relacionados com os tipos de recipientes.

Segundo Gomes¹ *et al.* (1991), citados por Santos *et al.* (2000), até aquele ano, vários modelos de recipientes tinham sido testados para produção de mudas de essências florestais, dentre os mais importantes pode-se citar: lâminas de madeira, tubetes de papelão, tubos de bambu, blocos prensados, torrão paulista, fertil-pot, paper-pot, sacos plásticos e tubetes de polietileno. Estes testes tiveram como objetivo, reduzir ou eliminar os problemas até então verificados nas mudas, e que foram relacionados aos recipientes. Em função da diversidade, é difícil definir o recipiente ideal.

Barros *et al.* (1978), mostraram resultados diferentes para altura das mudas ao estudarem alguns tipos de recipientes (torrão paulista, saco plástico, laminados, fertil-pot pequeno, fertil-pot grande, paper-pot pequeno, paper-pot grande, togaflora e três tipos de PXL). Dentre os recipientes estudados, os sacos plásticos, o fertil-pot grande e o paper-pot grande, foram os que apresentaram melhor performance, mostrando, assim, a importância do tamanho do recipiente e, conseqüentemente, do volume do solo no crescimento da muda no viveiro. Porém, não foi constatado diferença na sobrevivência entre os tratamentos. Segundo os autores, em função dos resultados terem mostrado tendência de diminuição das diferenças com o passar do tempo, indicado pela marcante diminuição do coeficiente de correlação, calculado entre as idades de 85 dias no viveiro e 108 dias após o plantio no campo, a decisão de usar um ou outro sistema de produção de mudas dependerá de considerações qualitativas e aspectos práticos como: custos, superfície útil, mecanização, etc. Os autores ainda afirmaram que, apesar dos vários modelos de recipientes encontrados no mercado na época, os sacos plásticos eram os mais utilizados, principalmente nos pequenos viveiros, em virtude de maior disponibilidade e menor preço.

Macedo (1993) concorda com Barros *et al.* (1978), quando diz que a escolha do recipiente depende do seu custo de aquisição, das vantagens na operação (durabilidade, possibilidade de reaproveitamento, área ocupada no viveiro, facilidade de movimentação e transporte), e de suas características para a formação de mudas de boa qualidade. Dentre os requisitos para a escolha correta do recipiente, a

¹ GOMES, J. M.; COUTO L.; BORGES, R. C. G., FONSECA, E. P. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maidem, Win-strip. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 35-42, 1991.

possibilidade de máxima mecanização se enquadra como uma das mais importantes. Esta importância é confirmada por Parviainen e Antola (1986), que verificaram, através das exigências econômicas de mercado, a necessidade de máxima mecanização com objetivo de atender a demanda por quantidade, qualidade e preço. Este fato veio a se efetivar a partir do início da produção de mudas em tubetes.

2.3.2.1 Produção de mudas em tubetes

Entre os motivos citados por Campinhos e Ikemori (1983), para a troca de sacos plásticos por tubetes, estão: enovelamento do sistema radicular; dificuldade das operações de viveiro; dificuldade de transporte para o campo e distribuição das mudas, em virtude do peso do substrato. No uso de sacos plásticos, é necessário que a terra esteja seca; o enchimento é manual; e há necessidade de se retirar o recipiente no momento do plantio, retardando a operação.

Com relação à morfologia das mudas, Parviainen (1981) citou ainda que a produção de mudas em recipientes de parede interna lisa, como no caso dos sacos plásticos, provoca enovelamento de raiz. Com os tubetes tal problema pode ser acertado com a formação de estrias longitudinais internas. No entanto, isto não resolve o problema. De acordo com Freitas *et al.* (2005), as deformações radiculares causadas pela parede rígida dos tubetes, em mudas de *Eucalyptus saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden, tenderam a persistir após a fase de viveiro.

Conforme Schmidt-Vogt¹ (1984), citado por Santos *et al.* (2000), a influência do recipiente é de suma importância, haja vista que o crescimento em espiral das raízes continua na fase de campo, podendo proporcionar uma baixa estabilidade das futuras árvores. Citado pelo mesmo autor, Parviainen² (1981) afirma que as deformações das raízes de *Pinus* sp. persistem mesmo após a retirada dos recipientes, continuando a crescer na direção do seu desenvolvimento deformado.

1 SCHMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E CONTROLE DE QUALIDADE DE SEMENTES E MUDAS FLORESTAIS (1984.: Curitiba). **Métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, FUPEF, p. 366-378, 1984.

2 PARVIAINEN, J. V. Qualidade e avaliação da qualidade de mudas florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS. (1:1981: Curitiba). **1º Seminário de Sementes e Viveiros Florestais**. Curitiba: FUPEF, p. 59-90, 1981.

Geralmente, a espécie a ser produzida contribui para a escolha do recipiente. No Brasil, para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, os viveiristas têm utilizado os tubetes de polipropileno de 50 cm³ (GONÇALVES e POGGIANI, 1996) e substratos à base de vermiculita e casca de pinus compostada.

Em relação à produção de mudas de espécies exóticas, principalmente do gênero *Pinus*, os tubetes atendem perfeitamente às necessidades do manejo de produção; mas, de acordo com Mattei (1994), deixa a desejar no que se refere à qualidade morfológica do sistema radicular. Ainda segundo ele, trabalhos realizados comparando o sistema radicular de mudas de *P. taeda* L. produzidas em tubetes com a semeadura direta a campo, demonstraram efeitos negativos da produção em tubetes. Os resultados mostraram que o sistema radicular das plantas originadas de semeadura direta apresenta raízes secundárias bem distribuídas horizontalmente (nos quatro quadrantes) e sem deformações; enquanto, mudas produzidas em tubetes apresentam raízes secundárias com distribuição horizontal deficiente (distribuídas em apenas dois quadrantes) e uma série de deformações morfológicas, que podem comprometer o crescimento futuro da árvore.

A morfologia e desempenho das raízes são vitais para a sobrevivência da muda e para o seu desenvolvimento após o transplântio. Segundo Mattei (1994), o desenvolvimento inicial das mudas, tanto em altura como em diâmetro, e a porcentagem de sua sobrevivência no campo são parâmetros comumente usados para verificar a qualidade das plantas após o transplântio, e são dependentes de um sistema radicular bem formado. Desta forma, deve-se priorizar estudos que indiquem o tipo e tamanho do recipiente mais adequado à formação do sistema radicular, sempre considerando a espécie que se está trabalhando.

A interferência do viveirista no controle dos fatores negativos, que levam ao crescimento desuniforme das raízes das mudas produzidas em tubetes, pode possibilitar a produção de mudas de melhor qualidade, as quais tendem a apresentar bom crescimento em campo (JOHNSON, 1996).

2.3.3 Substrato e nutrição

O substrato tem papel importante no crescimento da planta em cultivos sem solo, tendo que garantir por meio de sua fase sólida o crescimento da parte aérea e

o desenvolvimento do sistema radicular, com volume restrito. Exerce também as funções de dar sustentação às plantas, proporcionar o crescimento das raízes e fornecer as quantidades adequadas de ar, água e nutrientes (LEMAIRE, 1995). Além disso, deve apresentar uma estrutura que não dificulte a sua retirada do recipiente, por ocasião do plantio das mudas, e que não se destorroe, propiciando boas condições para o adequado desenvolvimento das plantas (STURION e ANTUNES, 2000).

Bezerra e Bezerra (2000) ressaltam a necessidade de produzirem mudas de boa qualidade e destacam o substrato e o recipiente como fatores determinantes para se obter bons resultados.

Materiais como terra e/ou areia já foram verificados como não aptos a serem utilizados como substrato ou meio de crescimento em tubos plásticos, face ao seu peso e conseqüente desagregação, bem como por não serem estéreis. A vermiculita é um meio que supera tais deficiências (TINUS¹ e McDONALD, 1979, citados por SANTOS *et al.*, 2000).

Na produção de mudas no sistema de recipientes, o substrato se torna um item muito importante e pode ser formado por apenas um componente ou por uma mistura.

Os substratos utilizados para a produção de mudas podem ser divididos quanto à origem, em orgânicos e inorgânicos. Os de origem orgânica são húmus, casca de arroz carbonizada, casca de pinus, turfas, xaxim e fibra de coco; e os de origem inorgânica são vermiculita, areia de rio, lã de rocha e espuma fenólica (SANTOS, 2002).

Para viveiros que utilizam sistema de produção de mudas em raízes nuas, o substrato é o próprio solo do viveiro. O que vai determinar o melhor desenvolvimento das mudas é a forma de preparo do mesmo. Inicialmente, a área deve ser relativamente profunda, em torno de um metro, para facilitar a lixiviação da água (SCHORN e FORMENTO, 2003).

O processo de fertilização deve ser de tal forma, que as mudas possam absorver o máximo de nutrientes (estando estes disponíveis), sem que haja excesso no substrato ou então perda por lixiviação. Tanto o excesso quanto a escassez

¹ TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. *How to grow tree Seedlings in containers in greenhouse*. USDA. Forest Service RM general technical report, Fort Collins (60): 1-256, 1979.

causam complicações à sanidade das mudas (SCHORN e FORMENTO, 2003). De acordo com os autores, a fertilização deve ser feita em duas etapas:

- a) fertilização de base: parte dos nutrientes é misturada diretamente no substrato, antes do enchimento dos recipientes. Aplicar 50% das doses de N e K e 100% das doses de calcário, P e micronutrientes;
- b) fertilização de cobertura: o restante dos nutrientes é aplicado, parceladamente, no decorrer do desenvolvimento das mudas, na forma de soluções ou suspensões aquosas.

Devido à pequena dimensão do tubete, sua reserva de nutrientes também acaba sendo pequena, sendo ainda prejudicada pela lixiviação intensa decorrida do tipo de substrato que o compõe. Por isso, a aplicação de fertilizantes deve ser feita em menor quantidade e em maior frequência, se comparada à produção de mudas em sacos plásticos.

Outra prática muito importante durante a produção de mudas, de acordo com Schorn e Formento (2003), é a “micorrização”. É definida como a associação entre determinados fungos e raízes finas, não lenhosas, de plantas superiores, com ocorrência de benefícios mútuos. Os fungos utilizam substâncias sintetizadas pelas plantas, tais como açúcares, carboidratos, vitaminas, hormônios, aminoácidos e diversos outros exsudatos. Isto implica que qualquer alteração da planta ou do ambiente acaba interferindo na simbiose.

Quanto aos benefícios que os fungos trazem às plantas, podem ser citados (SCHORN e FORMENTO, 2003):

- a) aumento da área de absorção das raízes;
- b) aumento da absorção de nutrientes, especialmente de fósforo;
- c) aumento da longevidade de raízes infectadas;
- d) maior resistência a extremos valores ácidos de pH;
- e) maior proteção contra infecção patogênica;
- f) maior resistência à seca das mudas e à altas temperaturas do substrato;
- g) maior poder de absorção de nutrientes.

Como resultado dos benefícios mútuos entre a planta e o fungo, está o aumento do índice de sobrevivência após o plantio, com melhor desenvolvimento das mudas no campo.

Os gêneros mais freqüentemente encontrados são: *Pisolithus*, *Telephora*, *Scleroderma*, *Rhizopogon*, *Boletus*, *Amanita*, *Cenococcum*, *Russula*, *Laccaria*, *Inocybe*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Cantharellus*, *Boletinus*, *Endogone* e *Suillus*.

2.4 QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

O sucesso na implantação de um povoamento florestal depende da qualidade das mudas. Esta qualidade está relacionada com a capacidade de resistência às adversidades do meio ambiente e com o crescimento rápido.

A qualidade de mudas florestais pode ser avaliada através de atributos morfológicos e fisiológicos. Sua morfologia é mais facilmente medida (RITCHIE¹, 1984, citado por DAVIS e JACOBS, 2005), e é a forma mais comum de avaliar a qualidade das mudas.

Altura e diâmetro do colo são largamente usados para avaliar a qualidade de mudas no viveiro, e, em muitos casos, estas variáveis têm sido correlacionadas com sobrevivência e/ou crescimento após o plantio (JACOBS *et al.*, 2005).

De acordo com Davis e Jacobs (2005), o sucesso do estabelecimento de plantações depende do uso de mudas cujas características morfológicas e fisiológicas garantem o crescimento e sobrevivência, sob condições ambientais variadas.

A qualidade da muda está diretamente relacionada com a composição genética, o tamanho, o vigor e a expectativa das condições ambientais após plantio, e é influenciada pelo manejo, armazenamento e plantio (MATTSSON, 1997). Schmidt-Vogt² (1966), citado por Carneiro (1995), classificou como parâmetros morfológicos que determinam a qualidades das mudas:

1 RITCHIE, G. A. Assessing seedling quality. In: DURYEA M. L. and LANDIS T. D. (eds). **Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings**. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, p. 243–259, 1984.

2 SCHMIDT-VOGT, H. **Wachstum und Qualitaet von Forstpflanzen**. Munique: Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 210 p. 1966.

- a) altura;
- b) atributos de vigor: peso total da muda; peso da parte aérea; diâmetro do colo; e as relações peso total da muda pela altura da parte aérea (PT/APA), peso da parte aérea pela altura da parte aérea (PPA/APA), diâmetro do colo pela altura da parte aérea (DC/APA), peso e/ou comprimento da parte aérea pela parte radicular (CPA/CPR);
- c) capacidade de enraizamento: peso das raízes; comprimento das raízes; superfície ativa das raízes; frequência de micorrizas nas raízes; percentagem de raízes e a relação peso das raízes pela altura da parte aérea (PR/APA);
- d) capacidade de assimilação: ramificação; formação de folhas ou acículas; e qualidade e quantidade de brotos;
- e) comprimento de acículas e comprimento de raízes.

Ainda de acordo com o autor, o uso de características simples não é o melhor caminho para avaliar a qualidade das mudas.

O potencial hídrico, o estado nutricional e a ecofisiologia do seu sistema radicular, são parâmetros fisiológicos que determinam a qualidade das mudas. No entanto, os parâmetros morfológicos como a altura, diâmetro do colo, maturação da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicular, por serem mais facilmente quantificáveis, são os mais usados (CARNEIRO, 1995).

Dentre os parâmetros morfológicos utilizados para a avaliação da qualidade das mudas, o diâmetro do colo e a altura são mais facilmente medidos. A altura contribui com 50,3% e a relação altura/diâmetro do colo com 32,9%, portanto, juntos contribuem com aproximadamente, 83% para a qualidade das mudas (GOMES *et al.* 2002).

Entretanto, de acordo com Omar (2005), nenhum atributo deve ser usado como critério único para determinar qualidade de muda, pois há dependência entre os atributos mencionados.

Segundo Carneiro¹ (1983), citado por Carneiro (1995), há duas vantagens na classificação de mudas florestais:

- a) aumento da porcentagem de sobrevivência;

¹ CARNEIRO, J. G. A. Variações na metodologia de produção de mudas florestais afetam os parâmetros morfofisiológicos que indicam sua qualidade. *Série Técnica FUFPEF*, n. 12, p. 1-40, maio/1983.

b) redução dos tratos culturais após o plantio.

O autor relata que mudas de baixa qualidade também apresentam menor crescimento durante os primeiros meses no campo. Ainda de acordo com Carneiro (1995), talhões estabelecidos com baixo padrão de qualidade, geralmente, causam redução na porcentagem de sobrevivência.

Portanto, a avaliação da qualidade das mudas deve ser rígida e dentro de padrões que garantam as mínimas condições para o crescimento da planta no campo.

Para Rubira e Bueno (1996), a qualidade é resultante de numerosas características fisiológicas e morfológicas, que propiciam o desenvolvimento e crescimento das plantas. Para estes autores, que estudam diversas espécies de pinus na Espanha, é evidente que todo o desenvolvimento da planta é resultado do seu sistema radicular; este precisa ser dotado de boa arquitetura, capacidade de armazenamento de reservas e de predisposição à colonização. Ainda segundo os autores, a proporção de novas raízes no momento do plantio e a capacidade de formar novas raízes está correlacionada com a taxa de sobrevivência das plantas.

As malformações causadas nas raízes pelos recipientes na fase de mudas podem provocar problemas nas plantas adultas, alguns anos depois (SHEPHERD¹, 1986, citado por NEVES *et al.*, 2005).

Ao se referir à mudas produzidas em raízes nuas, Tinus (1978) resumiu a forma do sistema radicular como consequência da ferramenta usada para o plantio, das técnicas de plantio, das propriedades e obstáculos do solo e da presença de vegetação no local.

Altura da parte aérea, diâmetro de colo, número de raízes emitidas, comprimento, área superficial e deformação do sistema radicular, foram os parâmetros utilizados por Freitas *et al.* (2005), ao estudarem a qualidade das mudas de eucalipto produzidas em blocos prensados e em tubetes, dois meses após o plantio. De acordo com os resultados encontrados pelos autores, as plantas originadas de mudas produzidas em blocos prensados, apresentaram melhor desempenho em diâmetro e altura, maior número de raízes emitidas e menor número de deformações do sistema radicular, nas avaliações realizadas em relação

1 SHEPHERD, K. R. *Plantation silviculture*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. 322 p.

às dos tubetes. Também concluíram que as deformações radiculares causadas por recipientes de paredes rígidas tendem a persistir após a fase de viveiro.

Uma abordagem enfatizando o uso da altura e do diâmetro de colo da mudas foi apresentada por Lokvenc¹, Krigel e Temmlová (1977), citados por Carneiro (1995). Os autores estudaram *Picea abies*, *Pinus sylvestris* e *Larix decidua* e concluíram que estas duas variáveis, se constituíram em importantes parâmetros morfológicos relacionado com o desenvolvimento pós-plantio, sendo chamado de relação altura-diâmetro (A/D). De acordo com Carneiro (1995), a relação A/D (54) é considerada como indicador de equilíbrio da muda de *P. taeda*, com maior crescimento e vigor. A constatação feita por este autor pode explicar o fato das mudas de menor altura superarem as de maior altura logo após o plantio. Este fato é muito importante do ponto de vista econômico, já que a vantagem da alta taxa de crescimento, principalmente no início do plantio, pode reduzir a necessidade de tratos culturais, diminuindo, conseqüentemente, os custos de produção. O autor ainda cita que a relação A/D, na fase de expedição das mudas, deve situar-se entre os limites de 54 até 81 para mudas de 0,20 m e 0,30 m de altura respectivamente. Para facilitar o controle, desenvolveu uma equação para mudas de *P. taeda*, para a região dos Campos Gerais no estado do Paraná:

$A / 81 =$ média mínima do diâmetro de colo em cm, para mudas com 0,30 m de altura.

Onde A, é a altura da muda.

Carneiro² (1976), citado por Carneiro (1995), observou em experimento com mudas de *P. taeda*, a maior sobrevivência (76%) em mudas mais velhas (11 meses), com diâmetros de colo superiores à média e alturas inferiores à média. A menor sobrevivência (26%) foi observada em mudas mais novas (oito meses), com diâmetros de colo inferiores à média (2,3 mm) e altura superiores à média (0,15 m). Com relação ao desenvolvimento inicial em campo, o maior crescimento após 15 meses (1,27 m), foi observado para mudas mais velhas, diâmetros e alturas superiores às suas médias (3,7 mm e 0,29 m) e o menor desenvolvimento (0,85 m)

1 LOKVENC, T.; KRIGEL, H.; TEMMLOVÁ, B. Relation of the morphological characters of tree plants: Their growth after the planting. *Práce Vúhnum.*, Checoslováquia, v. 50, p.49-68, 1977.

2 CARNEIRO, J. G. de A. *Determinação do padrão de qualidade de mudas de Pinus taeda L. para plantio definitivo*. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1976.

para as mudas mais novas, com diâmetros superiores às médias (2,3 mm) e altura inferior à sua média (0,15 m). Neste mesmo trabalho, o autor recomendou o plantio de mudas com diâmetro de colo superior a 3,7 mm.

Carneiro (1995) comenta a necessidade de estabelecer limites ótimos de altura das mudas no viveiro, acima e abaixo dos qual o desempenho em campo não é satisfatório. Segundo o autor, a faixa de altura deve situar entre 20 cm e 30 cm.

Pesquisando a espécie *P. taeda*, Grigsby¹ (1975), citado por Carneiro (1995), concluiu que mudas altas da espécie (média de 0,31 m) tiveram um volume 16,7% e 8,6% superior ao de mudas com altura intermediária (média de 0,18 m) após nove e 12 anos do plantio, respectivamente. A mesma tendência aconteceu com a espécie *P. echinata*.

Mello *et al.* (1993), verificaram superioridade do diâmetro a altura do peito (DAP), área basal e volume cilíndrico, até o vigésimo sexto mês de idade, para mudas selecionadas de eucalipto. Entretanto, a altura e a percentagem de sobrevivência não foram influenciadas pela realização ou não da seleção das mudas.

A produção mais uniforme de mudas, com menor variação nos parâmetros morfológicos, além de facilitar a mecanização em qualquer estágio, desde as operações de viveiro até plantio, reduz a necessidade de classificação de mudas (CARNEIRO, 1995).

2.5 INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE PLANTIO NA ARQUITETURA RADICULAR DAS PLANTAS

Plantio é a operação de transplante das mudas do viveiro para o campo, podendo ser manual, semi-mecanizado ou mecanizado. As datas de início e término de um plantio são restringidas por fatores limitantes do local da plantação. A umidade do solo e a temperatura são restrições usuais na maioria dos locais de plantio, mas outros fatores biológicos e ambientais também podem limitar a sobrevivência e o crescimento da planta.

¹ GRIGSBY, H. C. Performance of large loblolly and shortleaf pine seedlings after 9 to 12 years. Res. Note. SO. USDA Forest Service, New Orleans, n. 196, p. 1-4, 1975.

A escolha do método de plantio está condicionada, principalmente, à topografia do terreno, à extensão da área de plantio e aos custos. Em terrenos com topografia acidentada, o método, geralmente, usado é o manual e, em áreas planas, pode-se mecanizar o plantio (FESSEL, 2003).

No Brasil, o sistema manual difundiu-se como o principal método, mesmo em áreas planas, devido ao baixo custo da mão-de-obra (SIMÕES, 1989). No entanto, esta realidade deve ser observada por meio de senso crítico. O padrão de qualidade das mudas plantadas manualmente pode não apresentar o mesmo padrão de qualidade quando comparada com o sistema mecanizado. Fatores ambientais e ergonômicos podem influenciar no rendimento e na qualidade do plantio realizado manualmente; neste caso, recomenda-se treinamento para o plantio.

Em uma abordagem mais atual, têm sido observadas em algumas empresas, mudanças operacionais significativas para a atividade de plantio. Sistemas mecanizados e semi-mecanizados, embora apresentem custos operacionais elevados, são utilizados com intuito de alcançar altos rendimento e desempenho, requeridos pela necessidade da reposição rápida de grandes áreas.

Balensiefer (1978), estudando três métodos manuais e um mecanizado de plantio com *P. taeda*, observou que a percentagem de sobrevivência foi semelhante no sistema manual e no mecanizado. Nesse mesmo estudo, foi concluído que a percentagem de tempo gasto no plantio em relação ao tempo total, foi igual a 70,0% no sistema mecanizado, enquanto que no sistema manual foi igual a 81,0%. O autor concluiu também que o número de mudas plantadas por pessoa, em um mesmo período de tempo, foi quatro vezes superior no sistema mecanizado em relação ao sistema manual (81 mudas por pessoa/hora). Entretanto, a estimativa de custo do plantio mecanizado foi 61,4% maior do que no manual, esta característica torna o plantio mecanizado restrito à grandes empresas. Numa situação que não requer urgência, o plantio manual torna-se uma boa opção, necessitando apenas de treinamento para a realização da operação.

O plantio manual, geralmente, é realizado com uma ferramenta denominada chucho, sacho ou punção, com transplantadora de acionamento manual, ou com enxadão. O chucho é composto por uma haste de madeira ou aço com 0,85 a 1,22 m de comprimento, uma ponta para perfurar o solo e um limitador de profundidade.

Estudando diferentes métodos de plantio de *P. taeda*, Balensiefer (1978) concluiu que obstáculos, como tocos e galhos, provocam a redução da capacidade

operacional das atividades de plantio e que perturbam mais a operação de plantio mecanizado do que a operação manual. Estes obstáculos também podem influenciar na qualidade das mudas. A interferência no desenvolvimento do sistema radicular, influenciado por tocos, galhos, pedras e demais obstáculos, podem causar prejuízos que vão desde arquitetura do sistema radicular danificada, até limitação na absorção de nutrientes, água e ancoragem da planta, o que prejudica seu desenvolvimento.

As práticas de viveiro e o plantio das mudas no campo podem causar danos nas raízes que podem limitar seu crescimento. Normalmente, o sistema radicular é mais deformado quando as mudas são plantadas, em comparação com as de regeneração natural (PUHE, 2003). De acordo com o autor, a extensão da deformidade das raízes irá variar com a influência do sistema radicular inicial, o método de plantio, as condições do sítio e os cuidados ao plantar as mudas.

A técnica de plantio é causa de muitas deformidades de raízes, pois, quando inadequada, pode determinar a forma final da raiz. Alguns problemas potenciais de plantio, incluem: plantio muito profundo ou raso; plantio na horizontal ou em ângulo; e plantio com a raiz dobrada e exposta na superfície ou ainda enrolada (HUURI, 1978).

Independente dos obstáculos, é importante destacar que de nada adianta um bom sistema de produção de mudas, se a técnica de plantio não é adequada. Portanto, independente do sistema utilizado (manual, semi-mecanizado ou mecanizado), deve-se buscar sempre o aprimoramento do operador por meio de treinamentos.

2.6 SISTEMA RADICULAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS

O solo é o espaço físico onde ocorre o crescimento radicular. Nesse espaço, entre raiz e solo, duas forças se opõem: a pressão radicular, gerada por mecanismos biofísicos da planta, e a resistência à penetração do solo causada pelas forças que existem entre sólidos e solução do solo. Quando a pressão radicular vence, a raiz cresce. Por outro lado, quando a planta não consegue produzir suficiente pressão radicular, a raiz não se desenvolve (LIBARDI e LIER, 1999). Assim, pode-se concluir que é necessário priorizar a produção de mudas com boa qualidade morfológica, visto que raízes bem estruturadas estão mais aptas a

vencer a resistência do solo, desenvolvendo-se em busca de água e nutrientes, desta maneira, favorecendo o crescimento da planta.

O desenvolvimento do sistema radicular de uma árvore é um processo complexo que envolve muitos fatores internos e do ambiente, e suas interações. O fator que coordena a distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie; porém, ele pode ser influenciado por outros fatores inerentes ao ambiente, principalmente do solo, tais como: fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura e temperatura. As circunstâncias em que a planta se desenvolve, como por exemplo, competição e espaçamento entre as árvores, também contribuem para o desenvolvimento das raízes (GONÇALVES e MELLO, 2000). Baseado nesta concepção, Freitas *et al.* (2008) citam a grande importância do conhecimento do funcionamento do sistema radicular, pois este é fundamental no manejo das florestas plantadas.

Laclau *et al.* (2001) demonstraram elevada heterogeneidade na distribuição espacial de raízes de espécies de *Eucalyptus* spp. e a redução de sua densidade com o aumento da profundidade.

De acordo com Zobel¹ *et al.* (1992), citados por Anghinoni e Meurer (1999), a distribuição das raízes no perfil do solo segue uma forma característica da espécie. De uma maneira geral, dois padrões de distribuição são encontrados: o da estrutura típica de árvore invertida, de um sistema de raízes primárias, e o da estrutura tipo guarda-chuva, de um sistema de raízes secundárias. Os autores ainda citam Barber² (1995), que afirma que a estrutura adensada do solo restringe o crescimento de raízes em profundidade.

O conhecimento da área onde ocorre a maior atividade do sistema radicular é importante para o planejamento do fornecimento de nutrientes via solo, uma vez que a absorção de água e de nutrientes ocorre simultaneamente (SANTOS *et al.*, 2005).

A inibição do crescimento da parte aérea de mudas sob restrição radicular é, provavelmente, um processo regulado por sinais hormonais enviados pelas raízes, nos quais os fatores nutricionais ou relações hídricas das plantas podem ou não desempenhar papel secundário (MARSCHNER, 1995; REIS *et al.*, 1989).

1 ZOBEL, R. W.; KOCHIAN, L. V.; TOULEMONDE, T. G. Plant root systems. In: REETZ, Jr.; H. F., Ed. *Proceedings of the roots of plant nutrition conference*. Urbana: USDA/ARS, 1992. p. 30-40.

2 BARBER, S. A. *Soil nutrient bioavailability – a mechanistic approach*. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414 p.

Uma compreensão da dinâmica de raízes, que determina sua distribuição no solo ao longo do tempo, envolve o desenvolvimento das relações quantitativas entre características do solo e alocação de carbono fixo nos compartimentos do solo, mortalidade e rotação das raízes e morfologia do sistema de raízes desenvolvido. No entanto, na ausência de tais informações, uma observação empírica representa uma abordagem válida para compreender aspectos da dinâmica das raízes (ADEGBIDI *et al.*, 2004).

As raízes de árvores podem ser separadas, de acordo com seu tamanho e morfologia, em três categorias: raízes grossas, que apresentam baixa taxa de regeneração; raízes de diâmetro médio, que também apresentam baixa taxa de regeneração; e raízes finas, com alta taxa de regeneração (VOGT *et al.*, 1989). Cada uma tem sua importância no crescimento da planta.

2.6.1 Importância do sistema radicular no crescimento e produtividade da planta

O conhecimento da arquitetura radicular de espécies florestais pode permitir a recomendação de espécies mais adaptadas às características climáticas e de solo de uma determinada área ou região, conduzindo a uma melhor utilização do recurso solo (LECOMPTE *et al.*, 2001).

O sucesso no estabelecimento de mudas é largamente dependente da capacidade da muda gerar novas raízes (GROSSNICKLE, 2005). A produção de novas raízes pode atenuar o efeito do choque do transplante ou plantio (termo usado para descrever a redução de crescimento das mudas, causada pela aclimação no novo ambiente) logo após o plantio (HAASE e ROSE, 1993), o qual resulta de proliferação de raízes pobres e insuficiente contato solo-raiz (BURDETT, 1990). Este problema pode ser pronunciado no caso de mudas de raízes nuas, onde o contato solo-raiz é altamente perturbado através da perda de raízes finas (STRUVE e JOLY, 1992). O crescimento de novas raízes ajuda a aliviar este problema. Em mudas de coníferas, o crescimento de novas raízes é largamente dependente da fotossíntese e de alto potencial de água imediatamente após o plantio (BURDETT, 1990).

De acordo com Gonçalves e Benedetti (2000), a distribuição das raízes no solo resulta de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento.

A restrição do sistema radicular limita o crescimento e o desenvolvimento de várias espécies, em virtude da redução de área foliar, altura e produção de biomassa (REIS *et al.*, 1989).

A senescência de árvores de idade avançada está associada às severas restrições e limitações fisiológicas ao sistema radicular (BLAKE, 1981). Essas restrições não ocorrem somente com mudas, mas com árvores que se desenvolvem em condições naturais.

A forma, a profundidade e a distribuição das raízes dependem do ambiente e do potencial genético de cada espécie. Impedimentos físicos ou químicos do solo podem dificultar o pleno desenvolvimento das raízes (REIS *et al.*, 1989).

De acordo com Ennos (1993), as funções das raízes são ancoragem, absorção e movimento longitudinal de água e nutrientes minerais. Absorção e movimentação da água são realizadas pelas raízes finas, e a ancoragem da árvore pelas raízes grossas (MARSCHNER, 1995).

Medina *et al.* (1999), ao estudar as raízes de acácia-negra, verificaram que a estabilidade e/ou ancoragem das árvores estava relacionada com a ocorrência de ventos fortes. Paulino *et al.* (2003) afirmam que o tombamento ocasionado pelos ventos, está ligado, muitas vezes, por sistema radicular muito superficial.

A alta velocidade do vento pode causar cargas mecânicas adicionais. De acordo com Weaver (2002), os furacões freqüentes em florestas de Porto Rico foram as principais causas de mortalidade das árvores. Diante disso, estudos relacionados ao sistema radicular de plantas devem ser intensificados, com o propósito de adequar os sistemas de produção de mudas com as exigências da espécie, as técnicas de plantio e as condições ambientais, proporcionando boas condições para o desenvolvimento de plantas resistentes.

2.6.1.1 Raízes finas

As raízes finas, geralmente definidas como sendo menores que 2 mm de diâmetro, desempenham um papel significativo no crescimento das árvores (ADAMS; PENNELL e CAMPBELL, 1998; SEITZ, 1996). Embora o limite entre raízes finas e raízes grossas seja ambíguo, Gill e Jackson (2000) encontraram 20 trabalhos publicados onde foi usado limite de 5 mm; 16 trabalhos usando como referência 2

mm e 15 como sendo 3 mm. De acordo com Rylter (1997), as raízes finas têm curto período de vida (menos que um ano) e são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes pelas plantas, onde comprimento e número destas raízes são indicadores da capacidade de absorção. Portanto, segundo Anghinoni e Meurer (1999), é desejável que as plantas apresentem um amplo sistema radicular. Lecompte *et al.* (2001) vão mais além e citam que a absorção de água e nutrientes pela planta são dependentes, principalmente, do arranjo espacial das raízes.

A maior produção de biomassa de raízes se dá na fase de maior crescimento das árvores, isto é, na fase vegetativa, ocorrendo, durante o período de florescimento e de frutificação, um decréscimo na produção de biomassa de raízes (HEAD¹, 1973, citado por FREITAS *et al.*, 2008).

As raízes finas são mais abundantes no horizonte orgânico, onde se concentram de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes (EHRENFELD *et al.*, 1992), das quais 50-80% são biomassa morta (VOGT *et al.*, 1986), resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas.

De acordo com Freitas *et al.* (2008), a fenologia da substituição das raízes finas e a sua magnitude podem ser separadas de acordo com as condições ambientais associadas, podendo diferir conforme as espécies.

A interação de fatores, dentre eles, a espécie, clone, idade, estação em que é produzida, diâmetro das raízes, além de fatores ambientais do solo, influenciaram na longevidade das raízes finas de *Populus* (BLOCK *et al.*, 2006).

De acordo com Lainé *et al.* (1998), o sistema radicular é, via de regra, exposto a alterações espaciais e temporais nas concentrações de nutrientes do solo. Robinson (1996) afirma que as plantas respondem a essa heterogeneidade por meio de modificações fisiológicas e morfológicas, de modo a alterar a arquitetura de seus sistemas radiculares, estimuladas por regiões de maior concentração de nutrientes.

Frequentemente, as raízes de diferentes espécies ou da mesma espécie florestal, sobrepõem-se ocupando os mesmos horizontes orgânicos ou minerais no perfil do solo. Contudo, também é freqüente a ocorrência de vários patamares da posição vertical e horizontal das raízes, o que pode permitir uma separação da exploração de recursos e, deste modo, reduzir a competição e aumentar a produtividade (BENNETT *et al.*, 2002).

1 HEAD, G. C. Shedding of roots. In: *Shedding of plant parts*. New York: Academic Press, p. 237-293, 1973.

Segundo Anghinoni e Meurer (1999), a aquisição de nutrientes pelas plantas no solo ocorre através do crescimento das raízes e por suas ramificações, e a quantidade absorvida é determinada pela área superficial total de raízes e pela taxa de absorção por unidade de superfície de raiz. Raízes mais longas e mais finas, para a mesma massa (mesmo consumo metabólico), resultam em maior área superficial e, conseqüentemente, mais aptas em absorver nutrientes, especialmente os pouco móveis no solo, como o fósforo.

A proliferação de raízes finas na camada da superfície orgânica do solo no ecossistema florestal, é vista como uma estratégia para adquirir nutrientes em solos inférteis, nos quais há limitação de nutrientes. Isso é muito importante em floresta tropical, onde a maioria dos solos é altamente intemperizada, e a camada de raízes, freqüentemente, desenvolve-se dentro da camada orgânica para captura, ao longo do ano, de nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica (LACLAU *et al.*, 2004).

Witschoreck *et al.* (2003) trabalhando com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, observaram que, aproximadamente 57,9 % da densidade de raízes finas (≤ 2 mm) foi encontrada nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e a densidade de raízes finas diminuiu à medida que a profundidade do solo aumentou, havendo pouca variação após os 30 cm de profundidade.

A restrição do sistema radicular de mudas de diversas espécies reduziu o peso da matéria seca das raízes, o número de extremidade de raízes, o comprimento de raízes, a área foliar e a assimilação de água (TSCHAPLINSKI¹ e BLAKE, 1985, citados por CARNEIRO, 1995). Hipóteses foram levantadas por autores citados por Tschaplinski e Blake (1985), de que os declínios do crescimento da parte aérea e da produtividade, associadas às crescentes idades e dimensões de árvores, podem ser devidos à limitação do desenvolvimento radicular.

Potter (1999) comenta a importância das raízes finas na ecologia, por causa do seu papel na absorção de água e nutrientes e como fonte de matéria orgânica para o solo. Entretanto, apesar de seu papel fundamental no ecossistema, o funcionamento das raízes é pouco compreendido em razão das dificuldades impostas pelas técnicas utilizadas em seu estudo e, conseqüentemente, da

¹ TSCHAPLINSKI, T. J.; BLAKE, T. J. Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. *Physiology Plant*. Copenhagen, v. 64, p. 167-176, 1986.

insuficiência de dados (JANSSENS¹ *et al.*, 2002, citado por FREITAS *et al.* 2008). De acordo com Adegbidi *et al.* (2004), a razão porque há uma escassez de informações sobre o desenvolvimento de raízes de árvores é a dificuldade em medir o comprimento das raízes finas e sua biomassa.

Em estudos de produção de ecossistemas, as raízes finas são, geralmente, divididas entre biomassa e necromassa. A soma de ambas é definida como massa de raízes (KLINGE e HERRERA, 1978) ou total de biomassa (BÖHM, 1979).

Em florestas tropicais, o estudo de biomassa de raízes finas é restrito por causa das dificuldades na distinção de raízes vivas. Metodologias visuais não são adequadas neste tipo de floresta, onde a alta diversidade está expressa através da morfologia de muitas raízes. Por outro lado, a definição de raízes mortas é ambígua. Assim, a adaptação de métodos de seleção com objetivos de medir frações de raízes vivas e morta é urgentemente necessária (COMAS, *et al.*, 2000).

2.6.1.2 Raízes grossas

As raízes grossas têm papel fundamental para a planta. Dentre suas funções, pode-se destacar a sustentação ou ancoragem.

A maioria dos estudos referentes a ancoragem tem sido concentrada em espécies de interesse econômico, particularmente coníferas (MICKOVSKI e ENNOS, 2003 a e b).

A ancoragem é muito importante porque mantém a planta fixa no solo, geralmente na vertical, enquanto as raízes finas se encarregam de absorver água e nutrientes, indispensáveis para o desenvolvimento da planta. Algumas destas substâncias assimiladas pelas raízes finas da árvore, são deslocadas e armazenadas pelas raízes grossas da planta, caracterizando uma função nova para este tipo de raízes.

Diferentes fatores afetam a direção de crescimento das raízes, como a direção da qual a raiz emerge e também da sua curvatura (COUTTS², 1989, citado

¹ JANSSENS, I. A.; SAMPSON, D. A.; CURIEL-YUSTE, J.; CARRARA, A.; CEULEMANS, R. The carbon cost of root turnover in a Scots pine forest. *Forest Ecology and Management*, v. 168, p. 231-240, 2002.

² COUTTS, M. P. Factors affecting the directions of growth of tree roots. *Ann. Science Forest*, 46 (Suppl.), 277s-287s. 1989.

por PUHE, 2003); em função disso, deve ser priorizada a produção de mudas sem restrição às raízes e técnicas de plantio adequadas, com mínimo de dano ao enraizamento. Estes procedimentos auxiliam a formação de um bom sistema radicular e dão condições para seu desenvolvimento, tanto na fase de viveiro, quanto na fase de crescimento da planta no campo. Um sistema radicular bem formado assimila melhor água e nutrientes, o que, de certa maneira, influencia diretamente o crescimento da planta.

Além do crescimento da planta, outros fatores são dependentes do desenvolvimento das raízes e da sua arquitetura; dentre eles, o tombamento da árvore. Coutts (1983 a) cita que, dentre os fatores que influenciam o tombamento de árvores, a arquitetura do sistema radicular é de grande importância. O autor ainda lembra que, onde a profundidade de enraizamento é limitada pelas condições do solo, a simetria radial do sistema de raízes torna-se especialmente importante. Mickovski e Ennos (2002) afirmam que a assimetria e/ ou agrupamento de raízes podem também ser causados por obstruções físicas ou variabilidade espacial na disponibilidade de água e nutrientes no solo.

Fatores limitantes de crescimento das raízes em profundidade incluem rocha na superfície, horizonte B do solo, superfície compactada, solos com horizontes rasos e compactados, toxicidade. O desenvolvimento vertical da raiz é importante na redução da susceptibilidade de queda pelo vento (PUHE, 2003). Nielsen¹ (1991), citado por Coutts *et al.* (1999), comentou sobre a importância do sistema radicular em formar uma base reforçada para apoiar a árvore. O autor afirmou que onde as raízes principais são pouco desenvolvidas ou ausentes em um lado, a estabilidade será reduzida.

O desenvolvimento das raízes primárias é influenciado por muitos fatores externos. Fatores ambientais que podem afetar a estabilidade e ancoragem da árvore não incluem somente água e relações de nutrientes, mas também aspectos físicos do solo, os quais podem causar impedância, inibindo o crescimento da raiz (TAYLOR² e GARDNER, 1963, citados por KLEIN e LIBARDI, 2000).

O sistema radicular é muito importante para a estabilidade e crescimento da planta; portanto, além de mudas de boa qualidade, deve-se priorizar o preparo do

1 NIELSEN, C. C. N. Zur verankerungsökologie der Fichte. *Forst und Holz* 46, 178–182. 1991.

2 TAYLOR, H. M., GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. *Soil Science*, Baltimore, v. 96, p. 153-156, 1963.

solo e o plantio das mudas, já que o aspecto físico do solo e a maneira como a muda é colocada na cova, tem grande influencia sobre o crescimento das plantas.

2.6.2 Sistema radicular do gênero *Pinus*

Em plantas gimnospermas como o pinus, o sistema radicular é denominado axial ou pivotante, formado por uma raiz primária principal (axial), que se origina ainda no embrião. A partir da raiz primária, originam-se as raízes secundárias ou laterais (OMAR, 2005).

Na região apical da raiz principal, encontram-se três zonas de atividade: meristemática, de alongação e de maturação. Na zona meristemática, as células dividem-se formando o tecido radicular funcional e a coifa. Alguns milímetros acima da zona meristemática encontra-se a zona de alongação celular. Entre a zona meristemática e a de alongação encontra-se a região de rápida divisão celular e consequente crescimento longitudinal da raiz principal. O desenvolvimento do sistema radicular depende da atividade meristemática do sistema radicular e da produção de meristemas de raízes secundárias. Pequenos grupos de células do periciclo se dividem e crescem através do córtex e da epiderme da raiz principal, dando origem às raízes secundárias.

O término das divisões celulares na região de alongação da raiz estimula o desenvolvimento de meristemas de raízes secundárias (TAIZ e ZEIGER, 1998). A zona de maturação é a porção que primeiramente emite pêlos radiculares, aumentando substancialmente a área de absorção de água e solutos pelo sistema radicular. Nas plantas vasculares, o sistema radicular é uma estrutura primária especializada em absorção, fixação e produção de hormônios vegetais. As raízes das mudas de pinus de um e dois anos de idade são fibrosas e difusas, e, apesar de fina a raiz pivotante é muito evidente, caracterizando-se como sistema de raízes essencialmente fibroso. Com a idade, embora continue sendo curta, a raiz pivotante torna-se proporcionalmente mais proeminente, e as raízes laterais mais desenvolvidas. A raiz pivotante raramente desce mais que 1,5 m, sendo muitas vezes bifurcada. A morfologia das raízes de pinus é complexa; anatomicamente, as raízes individuais mudam ao longo do seu comprimento.

Além da sua própria variação inata, geralmente são associadas com fungos ectomicorrízicos. A descrição geral da micorriza sobre vários membros das Pinaceae pode ser encontrada em Brundrett *et al.* (1996).

De acordo com Baker e Longdon (1990), o enraizamento do *P. taeda* é fortemente influenciado pela idade da árvore, pelo solo e pelo meio ambiente. Uma árvore jovem desenvolve raiz pivotante curta, que na maioria dos casos, cessa seu crescimento em favor de um sistema radicular lateral extenso. A raiz pivotante longa (1,5 a 2,0 m), geralmente, se desenvolve em solos profundos, arenosos ou argilosos. Em solos úmidos e pesados, tende a ser robusta e curta. Raízes pivotantes de *P. taeda* são menores e mais curtas do que as de *P. echinata* e *P. palustris*. Locais excessivamente molhados confinam as raízes na camada superficial do solo, evidenciando as raízes laterais, que são proeminentes em um sistema superficial.

As raízes do *P. taeda*, geralmente, se esparramam lateralmente, estendendo-se além de sua copa. Crescem durante todo ano, mas, principalmente, em abril, em maio, no fim do verão e no começo das chuvas.

A deformidade do sistema radicular pode limitar a absorção de água e nutrientes e a fotossíntese, e reduzir a estabilidade ou ancoragem da planta. Por esta razão, a arquitetura do sistema radicular tem importância fundamental e está diretamente ligada com sua sobrevivência e desenvolvimento. Esta condição sugere que sejam buscados métodos adequados para a avaliação do enraizamento. É por meio destes métodos de avaliação que poderão ser indicados o meio mais adequado para a produção e plantio das mudas, e ainda o manejo do solo, em função da espécie trabalhada.

2.7 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR

Apesar de seu papel fundamental no ecossistema, o funcionamento das raízes é pouco compreendido em razão das dificuldades impostas pelas técnicas utilizadas em seu estudo e, conseqüentemente, da insuficiência de dados (JANSSENS *et al.*, 2002). As dificuldades operacionais somam-se os altos custos dos trabalhos.

De acordo com (VOGT *et al.*, 1997), a falta de informação sobre o sistema radicular das árvores freqüentemente limita o entendimento da estrutura e do comportamento das florestas.

A investigação *in situ* do enraizamento tem uma longa história, apesar de todas as dificuldades na medição das raízes. Nos últimos 20 anos, muitos passos foram dados neste campo de investigação, começando com a introdução de novos métodos para estudar a distribuição e a função das raízes no solo, de maneira a complementar os métodos antigos de inspeção visual (SMIT¹ *et al.* 2000, citados por MICKOVSKI e ENNOS, 2002).

O estudo do sistema radicular das plantas a campo é útil por possibilitar a relação entre o desenvolvimento radicular e os fatores que o influenciam, tais como: manejo físico e químico do solo, fatores genéticos, irrigação, entre outros. Entretanto, Medina e Neves (1999) afirmaram que os estudos nessa área não avançaram tanto quanto os que se ocupam da parte aérea das plantas. Um dos motivos para esta situação é que os estudos que envolvem as raízes são geralmente trabalhosos e as metodologias são pouco difundidas. De modo similar, Klepper² (1991), citado por Neves *et al.* (2000), afirmou que o conhecimento da quantidade e distribuição do sistema radicular das plantas ajuda a entender os fatores que influenciam a produção agrícola. Porém, também lembrou que historicamente, a maioria das pesquisas de plantas tinha sido concentrada no crescimento, desenvolvimento e função da parte aérea das plantas, reforçando a afirmação de Medina e Neves (1999). Ainda segundo o autor, muito devia ser aprendido sobre as relações entre raízes e a parte aérea.

Um dos problemas do estudo do sistema radicular das árvores é a grande variabilidade dos resultados, pois o local onde as raízes crescem é muito heterogêneo e o sistema radicular consegue desviar de obstáculos e de zonas menos favoráveis ao crescimento (ATKINSON³, 1980, citado por MEDINA e NEVES, 1999).

Costa *et al.* (2000) descrevem progressos nos estudos de raízes, principalmente pela análise de imagens, utilizando-se computadores. O autor ainda

1 SMIT, A. L.; BENGOUGH, A. G.; ENGELS, C.; VANNOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S. C. **Root methods: a handbook**. Springer, Berlin. 2000.

2 KLEPPER, B. Root-shoot relationships. In: WAISEL, Y.; ESCHERL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots: the hidden half**. New York: M. Dekker, p. 265-286, 1991.

3 ATKINSON, D. The distribution and effectiveness of the roots of trees crops. **Horticultural Reviews**, v. 2, p. 424-490, 1980.

cita a importância no tamanho e quantidade das amostras, com objetivo de reduzir a variabilidade dos resultados e, com isso, diminuir o erro amostral.

A importância do erro amostral no estudo das raízes é exemplificado por Bakker (1999). O autor encontrou perdas ao redor 20% em uma base de peso seco de raízes durante a lavagem e separação, constituindo-se em processos difíceis de serem controlados.

Em relação às metodologias utilizadas para avaliar a produção de raízes finas, Böhm (1979), utilizou cilindro para amostragem. Este método apresenta dificuldade na separação das raízes em meio ao solo e demais matérias orgânicas, podendo acarretar em uma fonte considerável de erro.

Medina e Neves (1999) citam outros métodos de avaliação do sistema radicular, sendo que, os mais utilizados no Brasil são: a trincheira ou parede do perfil, os blocos ou monólito, as placas com pregos, o trado e o rhizotron, dentre estes, o método de parede de perfil e os monólitos são os mais utilizados para estudar raízes de árvores.

No método da parede de perfil, uma trincheira é escavada ao lado da planta estudada e as raízes são expostas na parede da trincheira para serem avaliadas. Os monólitos, no entanto, se constituem de blocos de dimensões e quantidades pré-determinadas, delimitados no solo e próximo da planta a ser analisada. São recortados cuidadosamente, de maneira que as raízes possam ser analisadas (JORGE, 1999).

Böhm *et al.* (1977) compararam os métodos do monólito, trado, mini-rhizotron, parede de perfil e escavação por meio de jatos de água, em raízes de soja. A escavação pela aplicação de jatos de água deu uma boa estimativa da profundidade das raízes, mas não foi eficiente na estimação da densidade de raízes por volume de solo. Além disso, houve problemas em períodos muito molhados ou muito secos ao utilizar este método. O método de monólito foi considerado preciso, mas consumiu muito tempo. O método de trado deu uma boa idéia da distribuição quando levou em conta grande número de observações. Este método consumiu tempo na separação das raízes do material que não tinha interesse. O método de parede de perfil, com sua profundidade e distância, estimou a densidade de enraizamento e, de acordo com Böhm *et al.* (1977), além de ser menos problemático do que outros, como os métodos do monólito e do trado, dá uma idéia mais clara da extensão e da distribuição do sistema radicular.

Paulino *et al.* (2003) aplicaram o método da parede de perfil para analisar a arquitetura radicular da acácia-negra. As raízes foram expostas por meio de jatos de água e, posteriormente, pintadas para contraste. Malhas 25 x 25 cm foram ajustadas no perfil e fotografias foram tiradas para posterior análise pelo software SIARCS[®], obtendo-se o comprimento das raízes. Neste procedimento, pode-se perceber o uso de imagens no auxílio ao estudo das raízes. Neves *et al.* (2000) citaram que, as imagens são ferramentas muito úteis, pois permite a quantificação das raízes pelo método da parede de perfil mais facilmente.

Melhuish¹ e Lang (1968); Kendall e Moran (1963)², citados por Adegbidi *et al.* (2004), recomendaram um método fácil para investigação de campo das raízes finas. Eles sugeriram que a contagem das raízes existentes na face de uma trincheira poderia ser convertida em densidade do comprimento de raízes, usando uma simples expressão algébrica: $L_v = 2N_x$, onde L_v é a densidade do comprimento da raiz (cm cm^{-3}) e N_x é a contagem das raízes existentes na face da trincheira (números de raízes cm^{-2}).

A relação do sistema radicular com o desenvolvimento da planta é tão importante que, métodos de avaliação, mais precisos, mais rápidos e menos custosos devem ser incentivados.

2.8 AVALIAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE EXPERIMENTOS

2.8.1 Análise de covariância (ANCOVA)

A ANCOVA é comumente descrita para o ajuste de variáveis que não podem ser controladas pelo pesquisador. Ela permite uma correção das médias dos tratamentos após um ajuste com os valores das covariáveis, ou seja, remove a variância associada às observações adicionais (covariáveis) dos resultados da variável dependente, antes de fazer as comparações entre as médias. É muito utilizada em aplicações na experimentação agrícola para o controle do erro

1 MELHUIH, F. W.; LANG, A. R. G. Quantitative studies of roots in soil. Length and diameter of cotton roots in a clay-loam soil by analysis of surface ground blocks of resin impregnated soil. *Soil Science* 106:16-22.

2 KENDALL, M. G.; MORAN, P. A. P. *Geometrical probability*. Griffin, London, 1963.

experimental, interpretação de resultados experimentais e estimar dados perdidos (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Milliken e Johnson (2000), a ANCOVA é um procedimento estatístico que permite incorporar uma informação sobre covariáveis dentro da análise da variável resposta, algumas vezes empregada para reduzir o erro experimental, outras vezes para compreender melhor o fenômeno que está sendo estudado.

Uma outra definição válida para a ANCOVA pode ser descrita como uma técnica estatística para análise de dados originados de pesquisas, na qual uma variável dependente (y) é relacionada com uma variável independente quantitativa (x) para proceder a um ajustamento das médias dos tratamentos (NETER *et al.* 1990).

De acordo com Oliveira (2008), a ANCOVA tem sido largamente utilizada em diversas áreas de pesquisa. Nas áreas agrárias, tem ampla aplicação no melhoramento genético de plantas cultivadas. Este autor ainda cita Ostle¹ (1954), que apresentou um estudo teórico sobre ANCOVA, para um experimento fatorial com dois fatores, no delineamento em blocos casualizados.

As suposições básicas essenciais à utilização da análise de covariância, de acordo com Neter *et al.* (1990) são: o modelo linear tem os efeitos aditivos, os erros da variável dependente y são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância constante, os valores da variável auxiliar (covariável) devem ser fixos e suas medidas tomadas sem erro, a regressão de y sobre x , após a retirada dos efeitos de bloco e tratamentos, é linear e independente destes efeitos.

De acordo com Cochran² (1957), citado por Oliveira (2008), as mais importantes finalidades da análise de covariância são as seguintes:

- Ajudar na interpretação dos resultados experimentais e contribuir para esclarecer os efeitos de tratamentos;
- Controlar o erro experimental e aumentar a precisão das estimativas;
- Ajustar as médias dos tratamentos da variável dependente pelas diferenças dos correspondentes valores das variáveis independentes;
- Remover os efeitos de variáveis perturbadoras;

1 OSTLE, B. *Statistics in research basic concepts and techniques for research workers*. Iowa State College: Ames, 365 p., 1954.

2 COCHRAN, W. G. Analysis of covariance: its nature and uses. *Biometrics*, Mary-land, v. 13, n. 3, p. 261-283, jan. 1957.

- Estimar observações perdidas.

Com relação ao controle do erro experimental, Cochran (1957) ainda salienta que o ganho em precisão é proporcional ao valor do coeficiente de correlação entre a variável dependente e a covariável nas unidades experimentais que recebem o mesmo tratamento.

De acordo com Ramalho *et al.* (2000), o erro experimental depende de uma série de fatores, como a heterogeneidade na fertilidade do solo, a distribuição de água e os danos mecânicos sobre as plantas, entre outros. Parte do erro experimental pode ser reduzida por meio do controle local. No entanto, mesmo utilizando os delineamentos apropriados, que possibilitam um bom controle local, não é possível eliminar certos tipos de variabilidade entre parcelas, tais como diferenças no número de plantas nas parcelas, pequenas manchas de fertilidade no solo e diferenças na ocorrência de doenças e insetos. Nestas situações, esses tipos de heterogeneidade contribuem para aumentar a variância do erro e a precisão do experimento é reduzida. Em casos como esses, a análise de covariância pode ser usada com a finalidade de reduzir o erro experimental, por meio de ajuste das médias em função das pequenas diferenças que ocorrem em alguns fatores dentro da parcela (OLIVEIRA, 2008).

A perda de plantas em experimentos pode ter, muitas vezes, seus efeitos amenizados com ajustes por covariância (MORAIS *et al.* 1986).

Tendo em vista as várias finalidades da ANCOVA, pretende-se aplicá-la neste trabalho com objetivo de eliminar o efeito da altura inicial das mudas nas avaliações posteriores em campo e, também, o efeito da mortalidade. Deseja-se com isto, reduzir os efeitos causados por estas variáveis perturbadoras, de modo a se obter maior controle do erro experimental.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi instalado em junho de 2004 numa área da empresa COMFLORESTA, no Município de Campo Alegre – SC, na região do Lageado, cujas latitudes e longitudes são: 26° 11' 34.09" S e 49° 15' 57.30" O, respectivamente.

Campo Alegre situa-se a 870 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical temperado, sem estação seca; ao leste, verões quentes e a oeste, verões frescos; com temperatura média anual de 19 °C, com máxima de 34 °C nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e mínima de -8 °C nos meses de maio, junho e julho. A umidade relativa do ar varia de 80 % a 85 %, e a precipitação de 1.400 mm a 1.500 mm anuais. A insolação no verão varia das 6h às 19h30min e, no inverno, das 6h às 18h.

Ainda de acordo com Maack (1968), o clima da região enquadra-se como mesotérmico úmido, do tipo subtropical úmido de altitude. A classificação segundo Köppen é do tipo Cfb: sempre úmido, clima quente temperado, mês mais quente com temperatura média de 22 °C, onze meses com temperaturas médias maiores que 10 °C. Em suma, trata-se de um clima subtropical úmido com verões brandos e invernos com geadas freqüentes, sem estação seca definida.

A unidade de classificação de solos é caracterizada por Cambissolo Húmico Alumínico típico, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (3 % < declividade < 8 %), com cotas altimétricas entre 850 e 950 m (EMBRAPA, 1998).

Os dados climáticos para o município de Campo Alegre - SC foram obtidos de observações médias de 18,5 anos, e representados mensalmente, com exceção dos dados de dias de chuva, que foram obtidos a partir dos últimos 10 anos (TABELA 1).

TABELA 1 - DADOS CLIMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE CAMPO ALEGRE – SC – MÉDIA DE 18,5 ANOS

Mês	Precipitação média (mm)	Dias de chuva	Temperatura (°C)					Umidade (%)	Número de geadas	Direção do vento (2008)
			mínima	absoluta	máxima	absoluta	média			
Janeiro	220,7	19	16,7	13,1	26,7	31,8	21,7	79,0	0	E
Fevereiro	153,4	16	17,0	12,9	27,4	31,2	22,2	79,3	0	NE
Março	134,0	15	16,4	11,6	26,4	30,9	21,4	79,9	0	E
Abril	101,6	12	14,1	6,8	23,7	29,0	18,9	79,1	0	NW
Maio	129,6	10	10,2	1,7	21,3	26,8	15,7	81,4	2	NE
Junho	119,8	10	9,3	0,9	19,7	25,4	14,6	81,6	3	NW
Julho	128,0	11	8,1	-1,3	19,6	26,1	14,1	79,5	3	NW
Agosto	102,6	8	8,7	-0,2	20,2	28,8	14,4	79,6	3	NE
Setembro	173,1	14	10,8	2,3	22,0	30,5	16,1	78,7	1	E
Outubro	194,3	16	13,2	7,4	22,8	29,8	18,1	78,9	0	E
Novembro	146,0	15	14,2	8,7	25,1	31,2	19,6	75,8	0	E
Dezembro	165,7	15	15,9	10,3	26,7	32,4	21,3	76,6	0	E
Total	1.769,0	162							12	
Média	147,4	13,5	12,9	6,2	23,5	29,5	18,2	78,9	1	

FONTE: Battistella Florestal/EPAGRI (2009)

3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Foram avaliadas mudas de *P. taeda* produzidas em tubetes e em raízes nuas. Ambas as mudas foram plantadas por equipe técnica própria e equipe técnica terceirizada, de acordo com a descrição dos tratamentos da Tabela 2, onde a equipe própria recebeu treinamento para o plantio.

TABELA 2 - DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Método de produção	Descrição	Equipe de plantador
T1	M1	Tubetes com volume de 55 cm ³ , mudas com 6 meses de idade	Própria
T2	M1	Tubetes com volume de 55 cm ³ , mudas com 6 meses de idade	Terceiro
T3	M2	Tubetes com volume de 55 cm ³ , mudas com 10 meses de idade	Própria
T4	M2	Tubetes com volume de 55 cm ³ , mudas com 10 meses de idade	Terceiro
T5	M3	Tubetes com volume de 126 cm ³ , mudas com 6 meses de idade	Própria
T6	M3	Tubetes com volume de 126 cm ³ , mudas com 6 meses de idade	Terceiro
T7	M4	Mudas em raízes nuas, com 9 meses de idade	Própria
T8	M4	Mudas em raízes nuas, com 9 meses de idade	Terceiro

FONTE: O autor (2009)

O substrato comercial utilizado na produção das mudas em recipientes, teve como base a casca de pinus. Adicionalmente, foi utilizada adubação nas seguintes concentrações: OSMOCOTE® 18-05-09, respectivamente, N, P e K, sendo 0,20 kg por saco de 25 kg. Não foram realizadas adubações complementares.

Os tubetes de polietileno rígido, utilizados nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, apresentavam formato quadrado, quatro estrias internas e capacidade para 55 cm³. Os tratamentos T5 e T6 utilizaram tubetes redondos, com seis estrias e capacidade para 126 cm³.

Os tratamentos T1 a T8 são tratados no texto como método de produção de mudas M1 a M4, de acordo com a Tabela 2.

O plantio foi realizado em junho de 2004, em área de reforma, onde havia plantio de pinus. Obedeceu ao cultivo mínimo (mínimo revolvimento do solo), ou seja, após a colheita do pinus, houve roçada na área, em função do espaço entre a data da colheita e a data da instalação do experimento, ter favorecido o desenvolvimento da vegetação. Posteriormente, o local foi planejado (definição do espaçamento de plantio e orientação). Antes do plantio das mudas, foi realizado o

combate a formigas e, posteriormente, o coroamento das mudas e combate a formigas pós-plantio. A operação de plantio foi realizada manualmente, utilizando-se sacho de madeira, obedecendo a técnica usualmente utilizada na época.

3.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4, sendo duas equipes de plantadores e quatro métodos de produção de mudas.

O experimento foi composto por quatro repetições de 25 plantas por parcela, com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m entre plantas.

Foram avaliadas nove plantas centrais de cada parcela, mantendo-se também uma linha de bordadura externa do experimento.

3.4 COLETA DOS DADOS

Foram avaliados altura das mudas após o plantio; e aos 46 meses: sobrevivência; falhas; CAP (circunferência na altura do peito); altura das árvores; peso das raízes finas; arquitetura das raízes grossas (vista da base, vista frontal, vista lateral e raiz pivotante).

3.4.1 Altura das mudas após o plantio

Em agosto de 2004, foram realizadas medições de altura das mudas logo após o plantio. Foi utilizada régua graduada em cm e a medição foi considerada a partir da superfície do solo até a ponta mais alta.

3.4.2 Sobrevivência

A sobrevivência foi determinada aos 46 meses após o plantio no campo. Foi utilizada a porcentagem de plantas vivas, conforme metodologia utilizada por

Cantarelli *et al.* (2006), onde foram contadas as falhas e estimadas as porcentagens por parcela.

3.4.3 Avaliação de falhas

Todas as posições falhas em função da mortalidade das mudas foram identificadas por meio de letras, sendo (L), para as falhas nas linhas; (C) falhas nas colunas, ambas podendo aparecer duas vezes; (D) falha na diagonal, podendo aparecer até quatro vezes (FIGURA 2).



FIGURA 2 – ESQUEMA DEMONSTRATIVO DAS POSSÍVEIS FALHAS EM RELAÇÃO A UMA ÁRVORE BASE

FONTE: O autor (2009)

A identificação das posições falhas teve como objetivo, detectar os possíveis efeitos da abertura das copas no crescimento e na arquitetura radicular. Outro objetivo da identificação das falhas foi utilizar a soma das falhas ao redor de cada árvore como covariável no modelo matemático da ANCOVA (análise de covariância), de maneira a reduzir o erro experimental.

3.4.4 Crescimento em CAP, altura e cubagem aos 46 meses de idade

3.4.4.1 Circunferência na altura do peito (CAP)

A medição do CAP foi realizada em junho de 2008, utilizando fita métrica. O CAP foi transformado em DAP de acordo com a seguinte expressão:

$$DAP_{(1,3m)} = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

Sendo:

DAP = diâmetro a 1,3 m (cm)

CAP = circunferência a 1,3 m (cm)

π = pi (3,1415)

3.4.4.2 Altura das árvores

A altura das árvores foi obtida com auxílio do Suunto®. A medição foi realizada em junho de 2008.

3.4.4.3 Cubagem das árvores aos 46 meses de idade

Para cubagem das árvores foi utilizada fórmula de Smalian, de acordo com a expressão (2), abrangendo todas as árvores do primeiro bloco. Teve como objetivo calcular o fator de forma da árvore.

$$V_{r(cc)} = \frac{g1 + g2}{2} * a + \frac{g3 + g4}{2} * a + \dots + \frac{gc}{3} * a \quad (2)$$

Sendo:

$V_{r(cc)}$ =: volume real com casca (m³)

$g1, g2 \dots gc = \frac{d^2 * \pi}{40000} =$ áreas transversais (m²).

$a =$ altura (m)

$gc =$ área transversal na base do cone (m²)

O procedimento para cubagem teve início com o corte das árvores a 1,30 m de altura (primeiro torete, mantido em pé), com auxílio de motosserra. Foi utilizada fita métrica para medição das circunferências da base e circunferência na altura do peito (CAP = 1,30 m). Todas as medições de circunferência foram transformadas em diâmetro de acordo com a expressão (1). As medições posteriores foram realizadas de dois em dois metros ou até o diâmetro mínimo de 5 cm. O volume de cada torete foi calculado pelo respectivo segmento da expressão (2). A partir do limite de 5 cm de diâmetro foi considerado cone ou ponta, cujo volume foi calculado pela expressão (3), também representada na expressão (2).

$$V_c = \frac{gc}{3} * a \quad (3)$$

Onde

$V_c =$ volume do cone (m³)

$gc =$ área transversal da base do cone (m²)

$a =$ altura da árvore (m)

O volume real total, com casca, por árvore, foi obtido pela somatória dos volumes de cada segmento (torete), inclusive do cone.

3.4.5 Cálculo do fator de forma aos 46 meses de idade

O fator de forma foi obtido dividindo-se o volume real, com casca, conseguido através da expressão (2), pelo volume do cilindro (sem correção), com casca, de acordo com a expressão (4).

$$ff = \frac{vr(cc)}{vc(cc)} \quad (4)$$

Onde:

ff = fator de forma

$vr(cc)$ = volume real estimado com casca (m^3)

$vc(cc)$ = volume do cilindro com casca (m^3)

3.4.6 Volume real estimado

O volume real estimado por árvore foi calculando de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{cc(m^3)} = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40.000} * a * ff \quad (5)$$

Sendo:

V_{cc} = volume corrigido com casca (m^3)

DAP = diâmetro a 1,3 m (cm)

a = altura (m)

$ff = 0,64$ - Fator de forma estimado de acordo com a expressão (4)

3.4.7 Volume por parcela

O volume por parcela foi obtido somando-se todos os volumes individuais das árvores da parcela; portanto, é uma variável importante, que inclui o efeito da sobrevivência, da altura e do diâmetro das árvores.

3.4.8 Biomassa de raízes finas

Para avaliação das raízes finas aos 46 meses de idade, foi adotado cilindro amostrador (FIGURA 3), adaptado de Fujii e Kasuya (2008). Os autores consideram raízes finas como sendo todas as raízes menores que 2 mm de diâmetro.



FIGURA 3 – CILINDRO AMOSTRADOR DE RAÍZES FINAS

FONTE: O autor (2008)

Não foi feita distinção entre raízes vivas e raízes mortas devido à dificuldade de separação. Portanto, o peso da biomassa por amostra foi considerado como sendo o somatório dos dois tipos de raízes (NCAS, 2002).

3.4.8.1 Amostragem das raízes finas

A amostragem com cilindro, adaptada de Fujii e Kasuya (2008), considerou raízes finas como sendo as raízes com diâmetro menor que 2 mm.

O cilindro foi confeccionado com as seguintes especificações: cilindro de metal na forma de copo, com 10 cm de diâmetro, 20 cm de comprimento e 2 mm de espessura, perfazendo $1.564,5 \text{ cm}^3$ de volume interno. Uma pequena abertura de aproximadamente 1 cm de diâmetro na parte superior foi adaptada para liberação do ar, diminuição da resistência à penetração e visualização interna do nível do solo. Na outra extremidade, foi confeccionada uma superfície cortante, com ângulo de corte de fora para dentro, de maneira que o conteúdo interno do cilindro apresentasse menor compactação, menor interferência no volume interno e menor resistência ao corte do solo e raízes, facilitando a penetração (FIGURA 3).

Antes da amostragem, foi realizado teste para avaliar a profundidade de ocorrência das raízes. O teste foi realizado no Campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná, em área com regeneração natural de pinus. O resultado mostrou pouca incidência de raízes finas abaixo dos 0,20 m de profundidade, sendo a maioria distribuída nos primeiros centímetros da superfície.

A determinação da amostragem teve como princípio a sistematização pela escolha da árvore central (planta 5 na parcela). Na ausência desta, utilizou a árvore seguinte na ordem crescente, por exemplo, caso a planta 5 de uma determinada parcela fosse falha, a planta 6 seria selecionada para amostragem, se a planta 6 também fosse falha, selecionar-se-ia a seguinte, na ordem. Foi considerada uma árvore por parcela.

Foram amostradas quatro posições ao redor da árvore: duas na linha, dispostas uma em cada lado da árvore, e duas na coluna dispostas da mesma maneira (FIGURA 4A). As amostras foram obtidas na distância de 0,50 m do tronco, de forma a reduzir a possibilidade da mistura com raízes de árvores vizinhas e, a 0,20 m de profundidade (FIGURAS 4 B e 4 C).

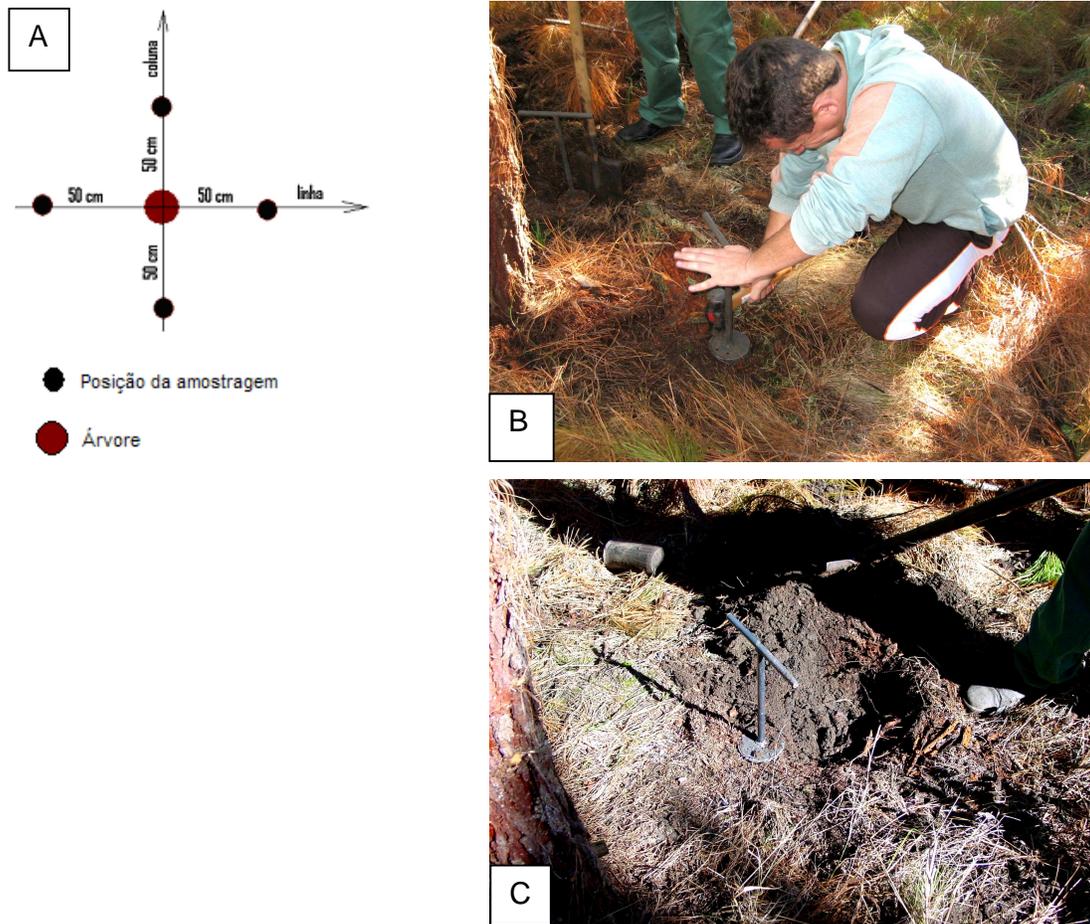


FIGURA 4 – POSIÇÃO DA AMOSTRAGEM (A); AMOSTRAGEM DAS RAÍZES FINAS – INTRODUÇÃO DO CILINDRO AMOSTRADOR (B); ABERTURA DE COVA LATERAL PARA RETIRADA DO CILINDRO (C)

FONTE: O autor (2008)

A seqüência de amostragem teve início com a limpeza superficial do local, penetração total do cilindro no solo (FIGURA 4 B), seguido de escavação lateral para facilitar a sua retirada, sem prejuízo à conformação do solo (FIGURA 4 C). Depois de retirado intacto, o cilindro tinha sua superfície aplainada com auxílio de uma faca, buscando-se padronizar a amostra (FIGURA 5).



FIGURA 5 – PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DAS RAÍZES FINAS

FONTE: O autor (2008)

As amostras padronizadas foram retiradas do cilindro, armazenadas em sacos plásticos e identificadas para posterior limpeza e secagem.

3.4.8.2 Pré-limpeza das raízes finas

Cada amostra acondicionada em saco plástico foi despejada sobre um conjunto de peneiras com malhas entre 5 mm e 2 mm, dispostas umas sobre as outras, na ordem da maior para a menor malha. A operação de “catação” foi realizada procurando separar as raízes do solo e das demais matérias orgânicas (FIGURA 6).



FIGURA 6 – CONJUNTO DE PENEIRAS (A e B), AMOSTRA DE RAÍZES FINAS ANTES DA PRÉ-LIMPEZA (B), SEPARAÇÃO MANUAL DAS RAÍZES FINAS DO SOLO (C), RAÍZES FINAS SEPARADAS DO SOLO (D)

FONTE: O autor (2008)

As raízes separadas, ainda contendo impurezas, foram devidamente acondicionadas dentro de estufa plástica, para secagem do solo preso nas raízes (FIGURA 7).



FIGURA 7 – SECAGEM DAS RAÍZES FINAS EM ESTUFA PLÁSTICA

FONTE: O autor (2008)

As raízes permaneceram na estufa por três dias para secagem, após este período foram levemente revolvidas com auxílio de uma peneira fina, para remoção do excesso de partículas de solo, sendo, posteriormente, armazenadas em sacos de papel para limpeza mais detalhada em laboratório.

3.4.8.3 Limpeza e secagem das raízes finas

No laboratório de sementes florestais da Universidade Federal do Paraná, foi realizada limpeza minuciosa com auxílio de lupa e pinça, separando raízes grossas que excediam os 2 mm de diâmetro, além de raízes de outras espécies, muitas vezes identificadas por sua coloração, ausência de micorrizas, flexibilidade e forma (FIGURA 8 A e 8 B).

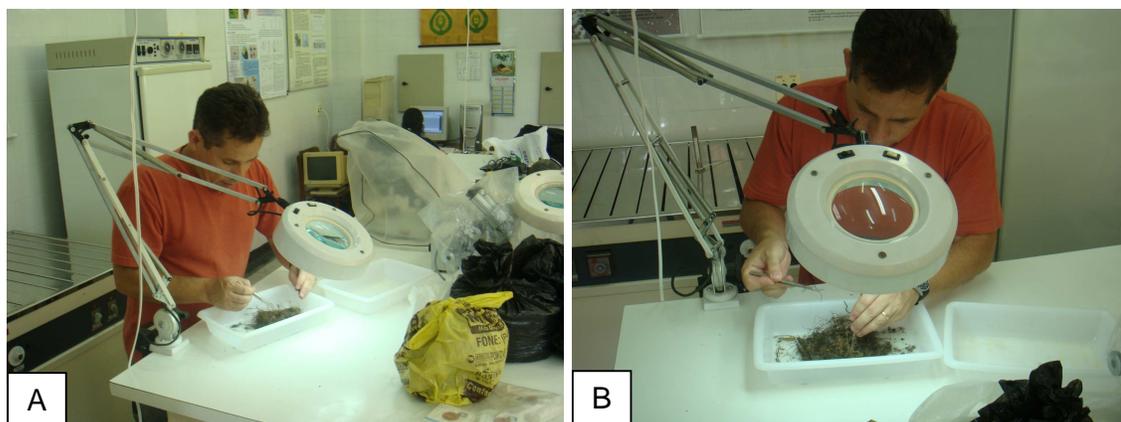


FIGURA 8 – LIMPEZA DAS RAÍZES FINAS EM LABORATÓRIO

FONTE: O autor (2008)

Após separação das raízes, foi aplicado jato de água direto nas raízes, sobre uma peneira com malhas de 0,59 mm para reduzir a perda de raízes. Em seguida, as raízes foram novamente colocadas dentro de estufa plástica para secagem, desta vez permanecendo por quatro dias.

3.4.8.4 Pesagem da biomassa das raízes finas

As amostras das raízes foram colocadas em recipiente plástico de peso conhecido (FIGURA 9 A) e pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais (FIGURA 9 B).

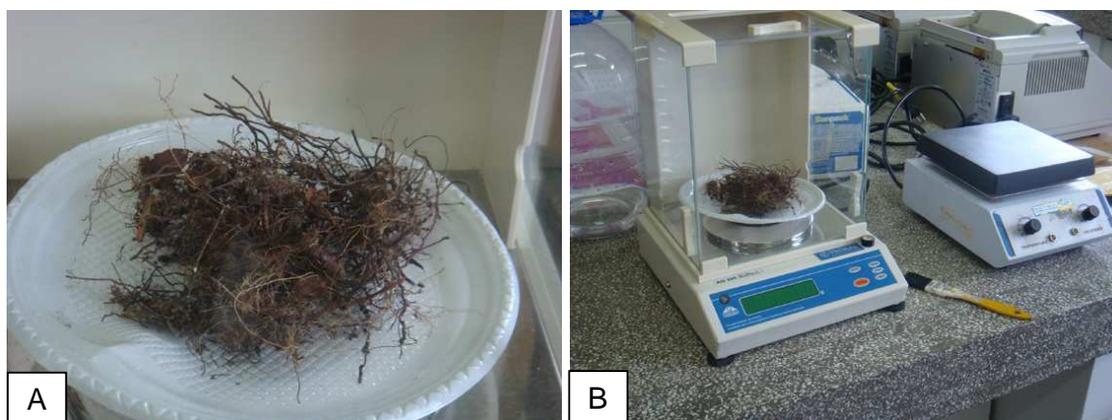


FIGURA 9 – AMOSTRA DAS RAÍZES FINAS (A); PESAGEM DAS RAÍZES FINAS COM BALANÇA ANALÍTICA DE 4 CASAS DECIMAIS (B)

FONTE: O autor (2008)

3.4.9 Avaliação da arquitetura do sistema radicular

3.4.9.1 Seleção das árvores

Foram selecionadas todas as árvores do primeiro bloco. A decisão considerou a homogeneidade da área de estudo, a dificuldade de locomoção das máquinas dentro da área e os custos operacionais.

3.4.9.2 Escavação e exposição das raízes grossas

A metodologia usada para escavação do solo com a finalidade de se obter a exposição das raízes grossas foi baseada no trabalho realizado por Neves *et al.* (2005), que analisaram a arquitetura radicular da acácia-negra (*Acacia mearnsii*).

Após a cubagem, as árvores foram marcadas para facilitar a identificação da posição original após sua remoção. O local da amostragem foi limpo e as árvores preparadas (FIGURA 10).



FIGURA 10 – PREPARAÇÃO DAS ÁRVORES PARA REMOÇÃO

FONTE: O autor (2008)

A escavação e remoção das árvores foram realizadas com auxílio de uma retro-escavadeira com concha de 0,80 m de largura e um cabo de aço adaptado. O solo foi escavado a partir do meio do espaçamento de plantio, a um metro de profundidade, e na distância de aproximadamente 0,85 m do tronco, em função do tamanho da concha utilizada (FIGURA 11).



FIGURA 11 – ESCAVAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE ÁRVORES DE *P. taeda*

FONTE: O autor (2008)

Após a escavação dos quatro lados, o bloco de solo foi levemente movimentado com auxílio da concha para promover o destorroamento (FIGURA 12), facilitando a remoção com mínimo de dano às raízes (FIGURAS 13 A e 13 B).



FIGURA 12 – DESTORROAMENTO DO SOLO COM AUXÍLIO DA CONCHA PARA FACILITAR A REMOÇÃO DO SISTEMA RADICULAR COM MÍNIMO DE DANOS

FONTE: O autor (2008)



FIGURA 13 – REMOÇÃO DA ÁRVORE (A), MOVIMENTAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR PARA DESPRENDIMENTO DO SOLO (B)

FONTE: O autor (2008)

3.4.9.3 Limpeza e identificação das raízes

O solo contido nas raízes foi removido com auxílio de facão, espátula e faca (FIGURA 14). Posteriormente, as raízes foram identificadas com etiqueta de alumínio contendo informação sobre o tratamento, número da árvore e ângulo da fotografia.



FIGURA 14 – LIMPEZA DO SISTEMA RADICULAR

FONTE: O autor (2008)

3.4.9.4 Obtenção das fotografias

Para facilitar a obtenção das fotografias, foi montado um fundo branco de material plástico entre duas árvores. Na frente deste fundo, foi montado um cavalete para apoiar os troncos, tanto na vertical, como na horizontal, com as raízes voltadas para frente, para obter o melhor contraste possível. Foram obtidas três fotografias de cada sistema radicular: vista da base (de baixo para cima); vista frontal (sentido da linha de plantio e vista lateral (sentido da coluna de plantio), conforme as Figuras 15, 16 e 17. No mesmo conjunto de fotografias, também foi avaliada a raiz pivotante.



FIGURA 15 – VISTA DA BASE

FONTE: O autor (2008)



FIGURA 16 – VISTA FRONTAL

FONTE: O autor (2008)



FIGURA 17 – VISTA LATERAL

FONTE: O autor (2008)

3.4.9.5 Atribuição de notas para a arquitetura do sistema radicular de plantas de *P. taeda* com 46 meses de idade

A atribuição das notas para o sistema radicular seguiu o modelo de classificação citado por Carneiro (1995). Foram implementadas adaptações com objetivo de avaliar o sistema radicular visto pela base das árvores, pela vista frontal, pela vista lateral e a raiz pivotante.

Foi estabelecida a padronização das notas pela seleção de dois conjuntos de fotografias que representassem os extremos superior e inferior, em termos de notas para qualidade e estabilidade do sistema radicular (FIGURA 18 A; B; C; D; E; F).

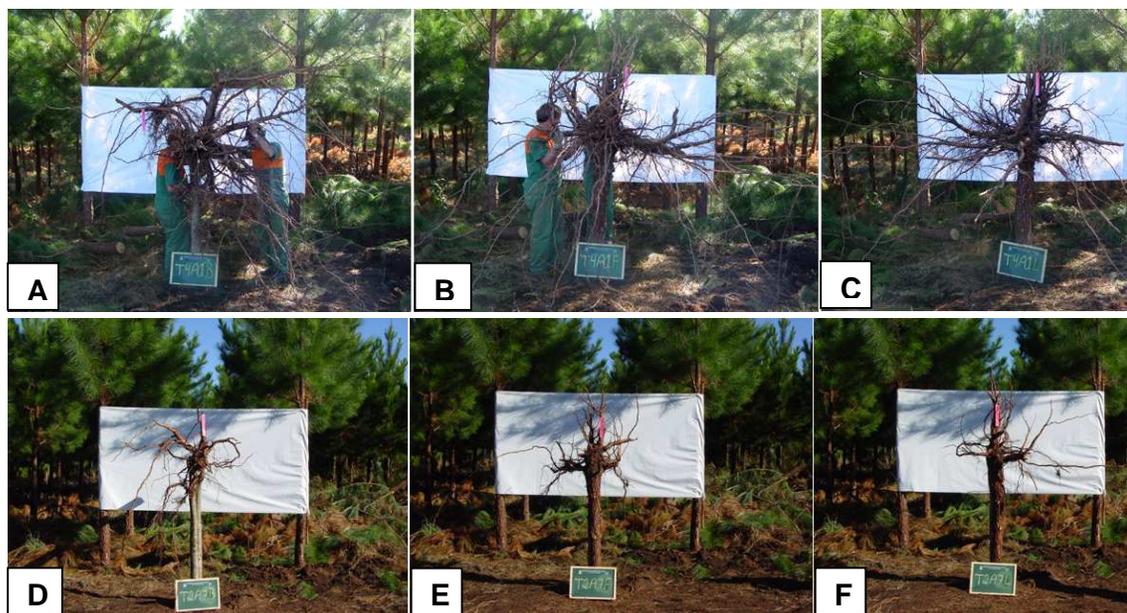


FIGURA 18 – PADRONIZAÇÃO DAS NOTAS - SISTEMA RADICULAR DE QUALIDADE SUPERIOR (VISTA DA BASE - A; VISTA FRONTAL - B; VISTA LATERAL - C); SISTEMA RADICULAR DE QUALIDADE INFERIOR (VISTA DA BASE - D; VISTA FRONTAL - E; VISTA LATERAL - F)

FONTE: O autor (2008)

De acordo com o conjunto de fotografias (FIGURA 18), definiram-se 5 atributos considerados importantes para a qualidade do sistema radicular e estabilidade da árvore (espessura das raízes, distribuição das raízes nos quadrantes, densidade das raízes, sinais de deformidades nas raízes e comprimento da raiz pivotante). Após a padronização, foram atribuídas notas para cada atributo do sistema radicular, de acordo com as vistas da base, frontal e lateral.

A espessura das raízes, quando considerada grossa, distribuída nos quatro quadrantes, com densidade grande e nenhuma deformação, representa um sistema radicular de melhor qualidade, de acordo com os organogramas das Figuras 19 e 20, com nota máxima igual a 30. De acordo com os atributos, notas intermediárias entre 0,25 e 30 podem ser atribuídas. Espessura fina, distribuída em apenas 1 quadrante, pequena densidade e nível alto de deformação, representa um sistema radicular de pior qualidade, com nota inferior igual a 0,25 para vista da base e 0,625 para as vistas frontal e lateral. O mesmo modelo de avaliação, porém, com outro atributo (comprimento), é utilizado para avaliação da raiz pivotante (Figura 21). A combinação dos atributos em função da distribuição nos quadrantes, também foi

considerada, fato que influenciou na escolha pela multiplicação das notas dos atributos, em detrimento da soma. Essa medida evitou discrepância na nota final, verificada na simulação com dados da raízes pivotantes, onde a soma resultaria em nota final (15), portanto, maior que a nota do sistema radicular de melhor qualidade, quando considerado um sistema radicular heterogêneo, o que resultaria em erro na avaliação.

3.4.9.5.1 Avaliação da arquitetura radicular - vista da base

A avaliação da vista da base foi realizada percorrendo o organograma da Figura 19.

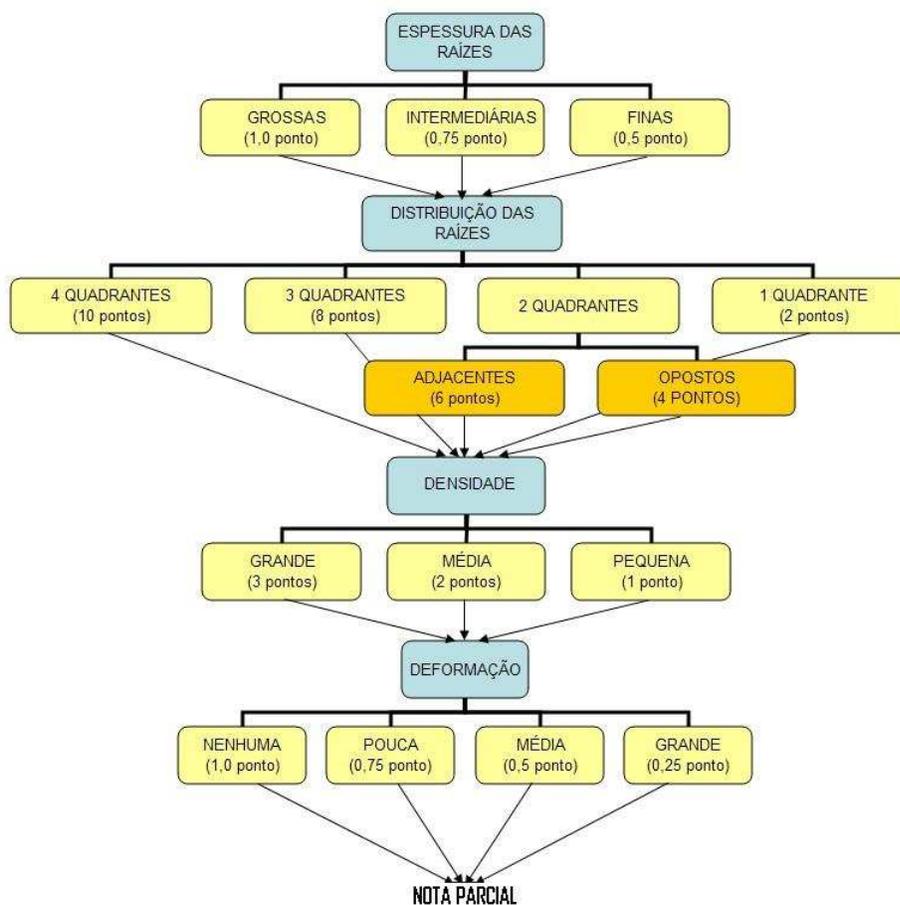


FIGURA 19 – ORGANOGAMA PARA AVALIAÇÃO DAS RAÍZES GROSSAS - VISTA DA BASE

FONTE: O autor (2008)

De acordo com o organograma proposto, a vista da base poderia receber notas dentro de uma escala que varia entre 0,25 e 30. Caso todos os atributos fossem avaliados com notas baixas, a nota do sistema radicular seria 0,25, representando um sistema radicular fraco em termos de sustentação para a árvore. Numa eventual classificação somente com notas altas, significaria uma árvore com boa arquitetura.

3.4.9.5.2 Avaliação da arquitetura radicular - vistas frontal e lateral

A avaliação do sistema radicular pelas vistas frontal e lateral foi realizada da mesma forma que no ângulo de vista da base; porém, em função de terem sido avaliados somente dois lados, as notas variaram de 0,625 a 30 pontos (FIGURA 20).

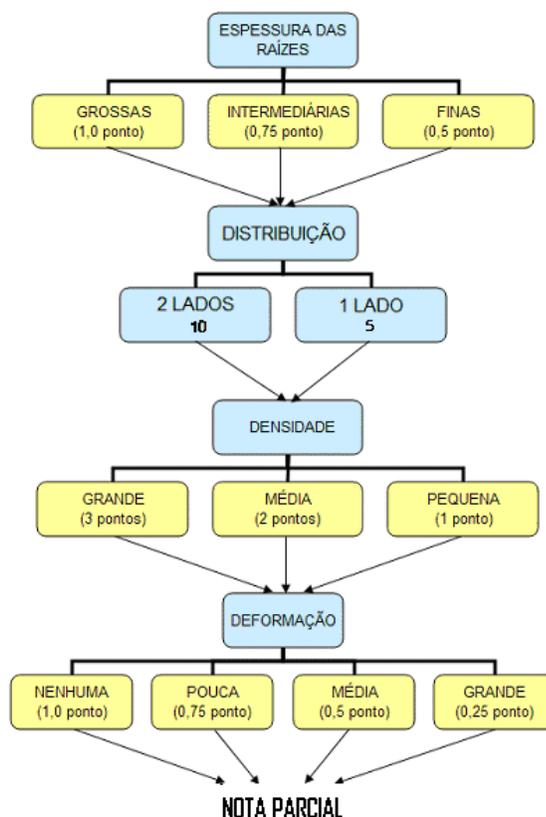


FIGURA 20 – ORGANOGrama PARA ANÁLISE DAS RAÍZES GROSSAS - VISTAS FRONTAL E LATERAL

FONTE: O autor (2008)

3.4.9.5.3 Avaliação da arquitetura radicular - raiz pivotante

A avaliação das raízes pivotantes considerou somente a espessura e o comprimento da raiz. Foi baseada no conjunto de raízes usada na padronização das notas (FIGURA 18). Durante a classificação, as notas das raízes pivotantes poderiam variar entre 2,5 e 10, de acordo com organograma da Figura 21.

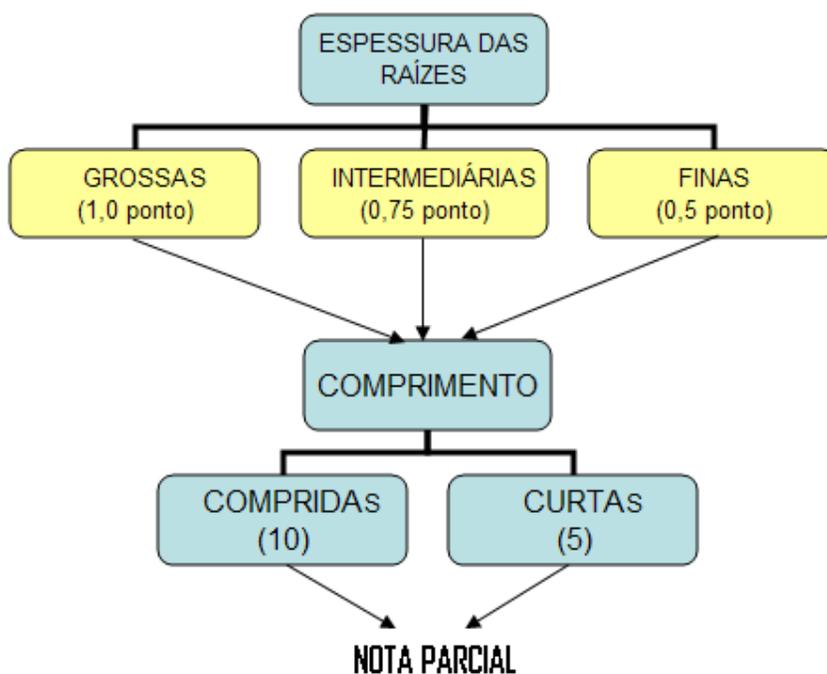


FIGURA 21 – ORGANOGrama PARA ANÁLISE DAS RAÍZES PIVOTANTES

FONTE: O autor (2008)

3.4.10 Classificação das notas atribuídas ao sistema radicular

Após todas as raízes das árvores terem sido avaliadas, as notas foram divididas em três classes de acordo com a vista analisada:

Vistas da base, frontal e lateral

- Classe inferior (notas < 10)
- Classe intermediária ($10 \leq$ notas < 20)
- Classe superior ($20 \leq$ notas \leq 30)

Raiz pivotante

- Classe inferior (notas < 3,3)
- Classe intermediária ($3,3 \leq \text{notas} < 6,6$)
- Classe superior ($6,6 \leq \text{notas} \leq 10$)

3.5 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DE CRESCIMENTO E DO SISTEMA RADICULAR

A relação entre todas as variáveis foi medida pelo coeficiente de correlação de Pearson e Spearman, objetivando a escolha do coeficiente que melhor representasse as variáveis morfológicas de crescimento e do sistema radicular. Foi utilizado o pacote estatístico R (R Development Core Team, 2008).

3.6 ANÁLISE DE DADOS

3.6.1 Pressupostos para a ANOVA

Os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade da variância entre os tratamentos foram verificados pelos testes de Shapiro-Wilks e Bartlett, respectivamente, fixando-se o nível de significância em 5%.

Para detectar, quando necessário, a melhor transformação dentro da classe de transformações de Box & Cox (BOX e COX, 1964), foi utilizada função `boxcox` implementada na biblioteca MASS do *software* R. Por meio desta função, encontra-se o valor ótimo do parâmetro que determina a transformação dos dados.

3.6.2 Altura das mudas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) sob mesmo nível de significância, utilizando-se o modelo matemático da equação (6).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijkl} \quad (6)$$

Onde:

Y_{ijkl} : é a variável resposta

μ : é a média geral

α_i : é o efeito (fixo) do i -ésimo método de produção; $i=1, 2, 3, 4$

τ_j : é o efeito (fixo) do j -ésimo plantador; $j=1, 2$

δ_k : é o efeito do k -ésimo bloco; $k= 1, 2, 3, 4$

$(\alpha\tau)_{ij}$: é o efeito da interação entre o i -ésimo método de produção é o j -ésimo plantador

ε_{ijkl} : é o erro aleatório

Uma parametrização alternativa à apresentada na equação (6) é considerar o modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijkl} \quad (7)$$

$$\text{Sendo: } \mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} \quad (8)$$

No qual a equação (8) representa na equação (7) as médias dos 8 tratamentos resultantes das combinações entre os níveis dos fatores: método de produção de mudas e equipe de plantador.

As hipóteses de interesse neste trabalho referem-se aos efeitos dos fatores: método de produção de mudas, equipe de plantadores e a interação entre estes.

Hipóteses:

a) Diferença entre os métodos de produção

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$$

$$H_1: \text{pelos menos um } \alpha_i \neq 0$$

b) Diferença entre as equipes de plantadores

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = 0$$

$$H_1: \tau_1 \neq \tau_2$$

c) Existência de interação entre método de produção de mudas e a equipe de plantadores

$$H_0: (\alpha\tau)_{ij} = 0 \text{ para todo } i, j$$

$$H_1: \text{pelo menos um } (\alpha\tau)_{ij} \neq 0$$

Sempre que a hipótese H_0 foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey fixando-se o nível de significância do teste em 5%.

3.6.3 Sobrevivência das plantas

Os dados de sobrevivência foram submetidos a ANOVA de acordo com expressão (6). Ressalta-se que para esta variável resposta, a observação é feita na parcela e não mais na árvore, logo o índice “ l ” da equação (6) não é mais necessário.

3.6.4 Covariáveis “altura das mudas” e “total de falhas”

As covariáveis “altura das mudas” e o “total de falhas” foram aplicadas no modelo da ANCOVA de acordo com expressão (9).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \delta_k + \beta x_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl} \quad (9)$$

Onde:

β = Constante

x = covariável

As demais variáveis estão descritas na expressão (6).

Ao comparar as equações (6) e (9), verifica-se a inclusão da covariável x , admitindo que o coeficiente β permanece constante nos diferentes tratamentos.

3.6.5 Análise de crescimento aos 46 meses de idade

3.6.5.1 DAP

Os dados de DAP foram submetidos a ANCOVA, tendo como covariável o total de falhas, de acordo com expressão (9). Não havendo efeito da covariável, utiliza-se a ANOVA de acordo com a expressão (6), com a retirada da fonte de variação “total de falhas”.

3.6.5.2 Altura das árvores

Os dados de altura das árvores foram submetidos posteriormente a ANCOVA, cujas covariáveis foram “altura das mudas” e “total de falhas”, de acordo com a expressão (9). Ressalta-se que, caso não seja detectado efeito de qualquer das covariáveis, estas serão retiradas do modelo e as demais fontes de variação serão submetidas a ANOVA, cujo modelo é exemplificado na expressão (6).

3.6.5.3 Volume por parcela

Os dados de volume por parcela foram submetidos a ANOVA de acordo com a expressão (6).

3.6.6 Raízes finas

Os dados de peso da biomassa das raízes finas foram submetidos a ANOVA de acordo com a expressão (6). Não havendo diferença significativa entre as

posições amostradas, seria usada a média das posições; caso contrário, incluir-se-ia a posição como uma fonte de variação.

Para verificar a associação entre o peso das raízes finas e o total de falhas ao redor da árvore, foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman (r_s), de acordo com a equação (12). Justifica-se a escolha desta medida de associação pelo fato da variável número de falhas ser discreta, assumindo valores em um conjunto de poucos números inteiros.

3.6.7 Raízes grossas

Todos os dados referentes às notas das vistas da base, frontal, lateral e pivotante, foram submetidos a ANOVA, de acordo com a expressão (7).

3.6.8 Análise de correlação entre as características morfológicas do *P. taeda*

Neste trabalho, o foco principal é analisar o efeito dos tratamentos no desenvolvimento da árvore, medido por diversas variáveis associadas à sua qualidade morfológica. Entretanto, muitas destas variáveis são correlacionadas e este fato pode dificultar a interpretação dos resultados devido à um possível confundimento nas supostas relações “causa-efeito”.

Para quantificar o grau de associação entre estas variáveis, foram utilizados os coeficientes de correlação de Pearson e coeficiente de Spearman, descritos nas equações (10) e (11), respectivamente.

$$r = \frac{\sum(xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(xi - \bar{x})^2)(\sum(yi - \bar{y})^2)}} \quad (10)$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum di^2}{(n-1)(n)(n-1)} \quad (11)$$

Em (10) e (11), para uma amostra de tamanho n , o par de valores na i -ésima observação é representado por (x_i, y_i) e a diferença entre o posto de x_i e y_i é denotada por d_i .

Para efeito de discussão, foi utilizada a classificação do grau de correlação proposta por Santos (2007) (TABELA 3).

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PROPOSTA POR SANTOS (2007)

Coefficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Íntima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Íntima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-0,1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

FONTE: SANTOS (2007)

A análise das correlações entre as variáveis morfológicas de crescimento (altura das mudas, DAP, altura das árvores, volume por parcela) e do sistema radicular (nota da base, nota frontal, nota lateral e nota da raiz pivotante) pelos coeficientes de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman, teve como objetivo evitar o cálculo de correlações espúrias nas situações em que o primeiro destes coeficientes não é adequado às características das variáveis analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis avaliadas, cujas médias e desvios padrão são apresentados na Tabela 4, separadas por método de produção de mudas e equipes de plantadores, serão analisadas e discutidas individualmente na seqüência.

TABELA 4 - MÉDIAS DE ALTURA DAS MUDAS APÓS O PLANTIO, DE SOBREVIVÊNCIA E DE VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DA PARTE AÉREA E RADICULAR DE *P. taeda* COM 46 MESES DE IDADE, PLANTADOS EM CAMPO ALEGRE – SC.

Método de produção de mudas	Equipe de plantadores	Altura das mudas após o plantio (cm)	Avaliação com 46 meses de idade								
			Sobrevivência (%)	Parte aérea			Sistema Radicular				
				Altura (m)	DAP (cm)	Vol/parcela (m ³)	Raízes finas (g)	Raízes grossas (nota)			
								Base (0,5-30)	Frontal (0,6-30)	Lateral (0,6-30)	Pivotante (2,5-10)
Tubete de 55 cm ³ 6 meses de idade (M1)	Empresa	25,5	83,4	5,4	9,7	0,205	1,063	15,3	10,5	15,2	7,7
	Desvio padrão	7,7	6,4	0,6	1,7	0,057	0,523	4,2	5,4	7,8	2,4
	Terceiro	24,8	75,0	5,3	10,1	0,196	0,984	15,2	14,6	16,2	8,0
	Desvio padrão	8,1	16,7	1,0	1,6	0,046	0,285	7,3	7,4	8,1	3,1
Tubete de 55 cm ³ 10 meses de idade (M2)	Empresa	29,3	94,5	5,9	10,8	0,305	1,253	17,7	13,1	12,4	8,6
	Desvio padrão	8,5	11,1	0,6	1,7	0,020	0,070	6,7	7,4	6,4	1,8
	Terceiro	30,3	94,5	5,6	10,5	0,275	0,966	23,8	24,0	25,8	8,8
	Desvio padrão	9,0	6,4	0,7	1,7	0,031	0,679	5,2	5,0	4,8	2,3
Tubete de 126 cm ³ 6 meses de idade (M3)	Empresa	25,0	94,5	6,3	10,9	0,337	0,792	20,0	19,2	18,8	8,1
	Desvio padrão	11,0	6,4	0,8	1,7	0,074	0,107	4,0	6,9	7,1	2,1
	Terceiro	17,4	58,4	6,2	10,8	0,206	0,906	18,8	18,4	20,4	7,5
	Desvio padrão	4,4	19,0	1,0	2,2	0,082	0,271	8,2	6,7	10,6	2,0
Mudas em raízes nuas 8 meses (M4)	Empresa	26,4	75,0	5,4	9,8	0,191	0,924	17,4	16,6	20,2	8,1
	Desvio padrão	11,5	19,0	0,8	1,7	0,040	0,388	5,4	7,0	6,1	2,4
	Terceiro	25,3	55,6	5,5	10,5	0,161	0,976	17,8	18,2	18,0	9,2
	Desvio padrão	7,2	9,1	0,5	1,9	0,024	0,539	7,4	11,4	5,3	1,3
Média geral		25,5	78,9	5,7	10,4	0,2	1,0	18,3	16,8	18,4	8,3

FONTE: O autor (2008)

4.1 ALTURAS DAS MUDAS APÓS O PLANTIO

As médias de alturas das mudas observadas logo após o plantio foram separadas por equipes de plantadores e métodos de produção de mudas de acordo com a Tabela 5.

TABELA 5 – ALTURA MÉDIA DAS MUDAS DE *P. taeda* AVALIADAS LOGO APÓS O PLANTIO

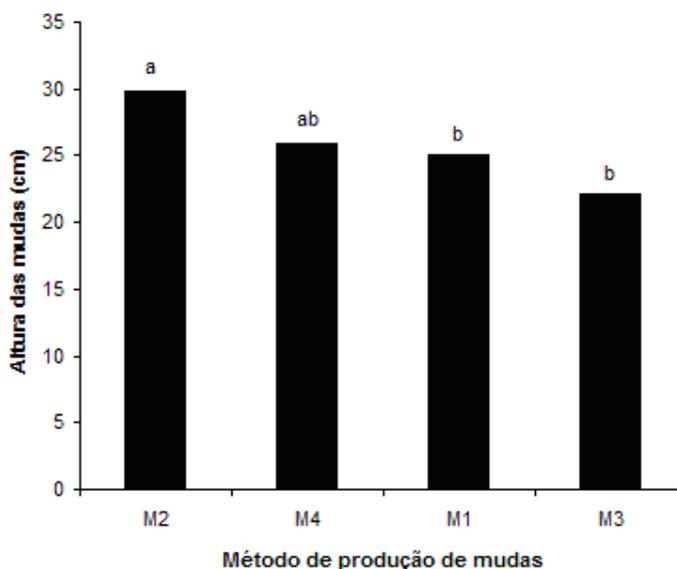
Equipe de plantadores	Método de produção de mudas	Altura média (cm)
EMPRESA	M1 (tubetes de 55 cm ³ – mudas com 6 meses)	25,5
	M2 (tubetes de 55 cm ³ – mudas com 10 meses)	29,3
	M3 (tubetes de 126 cm ³ – mudas com 6 meses)	25,0
	M4 (mudas em raízes nuas – 9 meses de idade)	26,4
TERCEIRO	M1 (tubetes de 55 cm ³ – mudas com 6 meses)	24,8
	M2 (tubetes de 55 cm ³ – mudas com 10 meses)	30,3
	M3 (tubetes de 126 cm ³ – mudas com 6 meses)	17,4
	M4 (mudas em raízes nuas – 9 meses de idade)	25,3

FONTE: O autor (2009)

Os dados de altura das mudas avaliadas após o plantio foram transformados (log x) para atenderem aos pressupostos da análise de variância.

Não foi detectado efeito significativo da equipe de plantadores e interação entre equipe de plantadores x método de produção de mudas (ANEXO 4 – TABELA 1). Portanto, estas fontes de variação foram retiradas do modelo e realizada a análise (ANEXO 4 – TABELA 2). Com base nos resultados, foi possível verificar que pelo menos um dos métodos de produção, apresentou altura das mudas significativamente diferente dos demais.

As médias das alturas das mudas foram comparadas e o resultado é apresentado no Gráfico 2.



NOTA: Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre métodos de produção de mudas

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 2 – ALTURA MÉDIA DAS MUDAS DE *P. taeda* EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO, AVALIADAS LOGO APÓS O PLANTIO

FONTE: O autor (2009)

Observa-se (GRÁFICO 2) que as mudas produzidas em recipientes com volume de 55 cm³ aos 10 meses de idade (M2), apresentaram altura média, significativamente superior a altura média das mudas produzidas no mesmo tipo de recipiente, com seis meses de idade (M1). A maior permanência no viveiro das mudas produzidas pelo método de produção M2, não interferiu negativamente a curto prazo no desenvolvimento em altura das mudas, indicando grau de restrição radicular com pouca interferência neste período. No entanto, deve-se ressaltar a importância do acompanhamento destas plantas no campo, pois, de acordo com Dedecek¹ e Gava (1997), citados por Paulino *et al.* (2003), a deformação radicular causada pela restrição inicial pode persistir após o plantio, prejudicando o desenvolvimento das plantas no campo.

¹ DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Compactação do solo pela colheita de eucalipto: sua avaliação e efeito na produtividade da rebrota. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Proceeding...** Salvador: IUFRO, 1997. p. 63-68.

Como pode ser visto pelos resultados (M1 e M2), apesar das alturas terem sido influenciadas pela idade das mudas, ambas as médias encontradas estão dentro da faixa de altura recomendada por Bacon¹ *et al.* (1977), citados por Carneiro (1995). Os autores estudaram *P. elliottii* e recomendaram para plantio, mudas com altura média entre 0,15 m e 0,40 m. Portanto, considerando que os autores trabalharam com mudas de um ano produzidas em recipientes, pode-se estabelecer uma comparação com os resultados deste trabalho, e, por consequência, sugerir o emprego de mudas com seis meses de idade, cujo resultado em altura no momento do plantio esteve dentro do recomendado pelos autores. A relevância do uso de mudas mais novas que se enquadre dentro dos padrões de qualidade se caracteriza, principalmente, pela redução de custos, tornando mais viável a produção de mudas florestais.

Com relação ao tamanho dos recipientes (M1- 55 cm³ e M3 - 126 cm³), não foi detectada diferença nas alturas das mudas aos seis meses de idade. Provavelmente, o efeito do tamanho dos recipientes, em relação ao fornecimento de nutrientes, água e grau de restrição, não foi suficientemente forte a ponto de provocar diferença na altura das mudas produzidas por estes dois métodos de produção, avaliadas aos seis meses. Vale lembrar que, numa avaliação considerando período maior, haveria grande probabilidade da vantagem em altura das mudas produzidas em recipientes maiores, devido às melhores condições para o desenvolvimento radicular, com menor grau de restrição, fato justificável pelos resultados encontrados por Carneiro (1985) e Napier (1985), que, ao trabalharem com *P. taeda* e *P. patula*, respectivamente, concluíram que mudas maiores são obtidas em recipientes maiores. Resultados semelhantes foram encontrados por Leles *et al.* (2000), ao estudarem mudas de *Eucalyptus spp* e *E. grandis*. Os autores observaram que o volume do recipiente é importante para o crescimento do sistema radicular e também da parte aérea das mudas na fase de viveiro e até na fase de campo, justificando estudos que identifiquem o tamanho adequado do recipiente.

Sturion (1980), ao estudar a formação de mudas de *Prunus brasiliensis* Schott ex Spreng, em diferentes tipos e tamanhos de recipientes, detectou diferença significativa na altura das mudas produzidas nos recipientes maiores. A explicação do autor foi de que a retenção de umidade nos recipientes maiores favoreceu o

¹ BACON, G. J.; HAWKINS, P. J.; JERMYN, D. Morphological grading studies with 1-0 slash pine seedlings. Aus. For., Queensland, v. 40, p. 293-303, 1977.

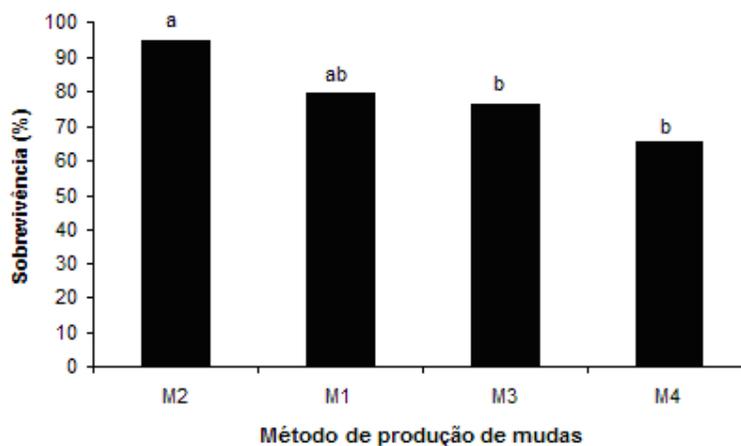
desenvolvimento radicular, propiciando maior altura das mudas. No entanto, partindo do pré-suposto de que a maioria dos viveiros florestais possui irrigação controlada - que evitaria um eventual déficit hídrico - o efeito da umidade não deveria ser o principal agente para explicação das diferentes médias de alturas detectadas pelo autor, mas sim, a provável interação tipo de recipiente e espaço para o desenvolvimento radicular sem deformação. Também se referindo ao tamanho dos recipientes, Santos *et al.* (2000) relataram que o crescimento em altura de mudas de *Cryptomeria japonica* produzidas em recipientes que variaram de 50 cm³ até 240 cm³, avaliadas aos quatro meses após a repicagem, estavam diretamente relacionadas com o volume dos recipientes. No entanto, de acordo com os resultados deste trabalho, mudas produzidas em recipientes maiores (126 cm³) foram semelhantes em altura, quando comparadas às mudas produzidas em recipientes menores (55 cm³), avaliadas aos seis meses de idade. Este resultado também se opõe aos comentários de Barros *et al.* (1978), que relatam que recipientes de 60 cm³ podem causar restrição radicular em decorrência das suas dimensões, causando uma reduzida taxa de desenvolvimento no viveiro. Todavia, cabe considerar a idade das mudas, pois, quanto mais tempo a muda permanece no viveiro, maior restrição irá sofrer.

4.2 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO AOS 46 MESES DE IDADE

4.2.1 Sobrevivência

Os dados da média de sobrevivência das plantas na parcela, expressos em porcentagem, tiveram a homogeneidade e a normalidade testadas, onde foi verificada a necessidade de transformação, conseguida elevando-se a variável observada ao quadrado. Após a transformação, os dados foram submetidos à análise de variância (ANEXO 5 – TABELA 3), cujo resultado mostrou que todas as fontes de variação apresentaram significância. Desta forma, foram realizados testes de médias, que são discutidos a seguir.

As médias de sobrevivência na parcela por método de produção de mudas foram comparadas e o resultado é mostrado no Gráfico 3.



LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas - 9 meses de idade

GRÁFICO 3 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE *P. taeda* AOS 46 MESES DE IDADE

FONTE: O autor (2009)

As árvores originadas de mudas de 10 meses de idade, produzidas em recipientes de 55 cm³ (M2) não apresentaram diferenças significativas na taxa de sobrevivência aos 46 meses de idade, quando comparadas às árvores originadas de mudas produzidas no mesmo tipo de recipiente, plantada aos seis meses de idade (M1). A semelhança entre M1 e M2, em parte, pode ser explicada pela facilidade de plantio das mudas produzidas nos recipientes utilizados nestes dois métodos de produção, em relação àquelas produzidas em recipientes maiores ou em raízes nuas. Mudas produzidas em recipientes pequenos são mais facilmente manipuladas no momento do plantio do que mudas produzidas em recipientes maiores, tendo em vista que estes últimos requerem maior esforço na abertura das covas e colocação das mudas, além de não serem os mais utilizados atualmente, podendo haver, portanto, despreparo para plantio e, conseqüentemente, menor sobrevivência das mudas.

A semelhança verificada entre M1 e M2 pode significar que, ao considerar a sobrevivência da árvore no campo aos 46 meses de idade, como um indicador de qualidade da muda, o plantio de mudas já aos seis meses de idade, reduz o tempo de permanência no viveiro e conseqüentemente os custos de produção.

Com relação ao tamanho dos recipientes, não foi detectada diferença significativa na sobrevivência das árvores originadas de mudas produzidas pelos métodos de produção M1 (55 cm³) e M3 (126 cm³), avaliadas aos 46 meses de idade. Provavelmente, a idade de seis meses não foi suficiente para causar restrição radicular a ponto de provocar diferença na sobrevivência das árvores de *P. taeda* aos 46 meses de idade, o que contrasta com a afirmação de Freitas *et al.* (2005), que disseram que mudas mais desenvolvidas e com maior percentual de emissão de raízes, geralmente produzidas em recipientes maiores, são mais adaptadas às condições de estresse ambiental, garantindo maiores taxas de sobrevivência no campo. De maneira similar, Schmidt-Vogt¹ (1966), citado por Carneiro (1995), constatou que mudas da mesma espécie, com maior peso de raízes, apresentam maiores chances de sobrevivência no campo. No entanto, ao considerar a semelhança entre a sobrevivência de árvores originadas de mudas produzidas em M1, M3 (seis meses de idade) e M4, os resultados estão de acordo com Huuri² (1973) citado por Parviainen (1984), ao afirmar que a taxa de sobrevivência das mudas produzidas em recipientes deve ser tão satisfatória quanto em raiz nua.

A taxa de sobrevivência das árvores originadas de mudas em raízes nuas (M4) foi estatisticamente inferior a taxa e sobrevivência das árvores originadas de mudas produzidas pelo método de produção M2, e semelhante a dos outros métodos de produção de mudas. Provavelmente, a idade das mudas tenha favorecido o método de produção M2, quando comparado com M4.

Outro fator que poderia influenciar no desempenho da sobrevivência das árvores originadas de M2 em relação àquelas originadas de M4 é a característica fisiológica das mudas, representadas pelo potencial de regeneração das raízes e, possivelmente, pela rustificação em função da permanência no viveiro. Ambas as características são inerentes às mudas produzidas no método de produção M2, favorecendo-as em relação àquelas produzidas em M4. Por não apresentar proteção radicular, as mudas em raízes nuas (M4) são mais susceptíveis aos danos radiculares no momento do plantio; portanto, com maior necessidade de gerar novas raízes para manter a muda viva, quando há algum impedimento como, por exemplo: compactação do solo e falta de umidade, a muda pode morrer. Esta justificativa é

1 SCHMIDT-VOGT, H. *Wachstum und qualitaet von Forstpflanzen*. 2. ed. Munique: Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 1966. 210 p.

2 HUURI, O. *Finish observations on planting pine in peat pot*. Suoseura, Helsinki, v. 24, n. 3, p. 37-46, 1973.

reforçada por Parviainen (1981); segundo o autor, a sobrevivência e o crescimento, após o plantio, dependem em grande parte da rapidez com que as mudas produzem novas raízes. Também Ritchie e Dunlap (1980) citaram inúmeras pesquisas, com várias espécies, incluindo-se *P. taeda*, nas quais o potencial de regeneração de raízes apresentou correlação positiva com a sobrevivência das plantas.

Com relação as equipes de plantadores, houve diferença na taxa de sobrevivência por parcela aos 46 meses de idade (GRÁFICO 4).

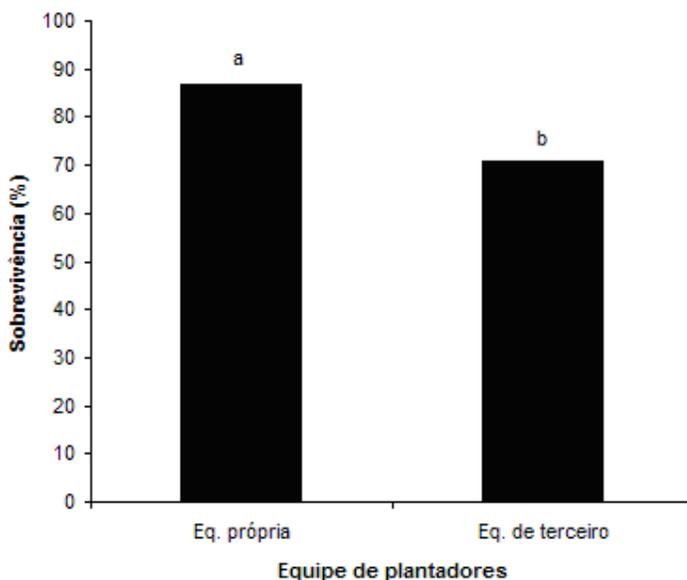
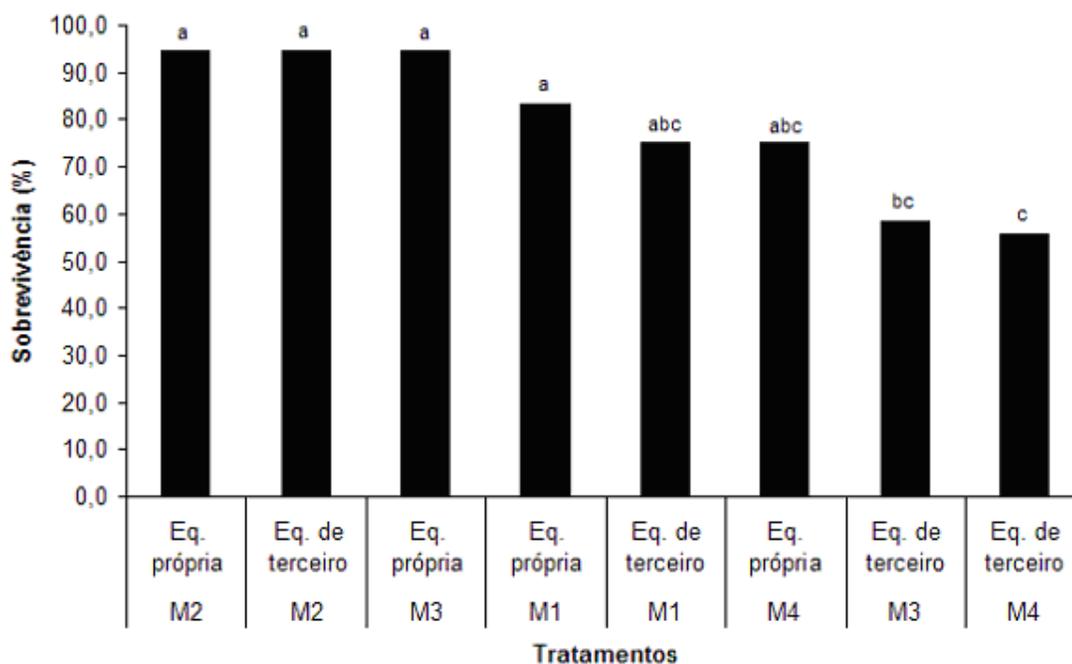


GRÁFICO 4 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DA EQUIPE DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

As árvores de *P. taeda* originadas de mudas plantadas pela equipe própria apresentaram taxa de sobrevivência estatisticamente superior àquelas originadas de mudas plantadas pela equipe de terceiro (86,8% e 70,9% respectivamente). A diferença foi, provavelmente, influenciada pelo treinamento aplicado para a equipe própria, que, de certa forma, corrigiu determinados procedimentos (abertura das covas, acomodação das mudas na posição correta e cobertura do sistema radicular) no momento do plantio, reduzindo a mortalidade das mudas.

Em função da significância da interação, o teste de comparação de médias para os dados de sobrevivência foi desdobrado (GRÁFICO 5).



NOTA: Letras iguais significam que não há diferença significativa entre os tratamentos

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas - 9 meses de idade

GRÁFICO 5 – MÉDIAS DE SOBREVIVÊNCIA POR PARCELA EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E EQUIPE DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

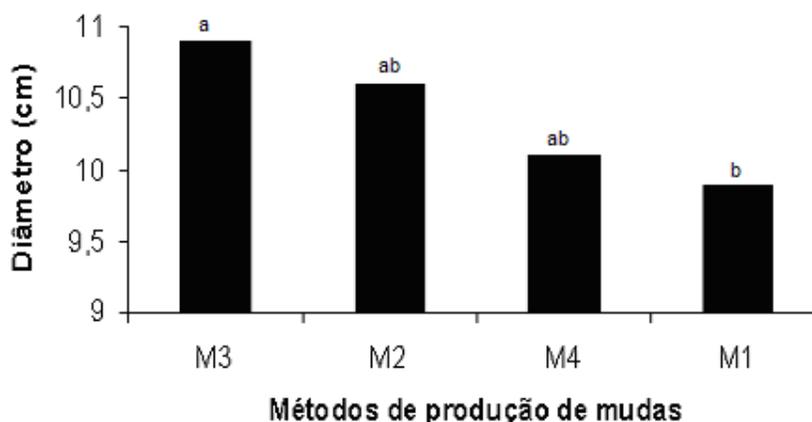
O resultado indicou que, quando as mudas foram plantadas pela equipe própria, não houve diferença significativa na média de sobrevivência das árvores aos 46 meses de idade, independente do método de produção utilizado.

Quando a comparação da sobrevivência foi realizada entre as equipes de plantadores, o método de produção de mudas M3 apresentou diferença, sendo que a maior taxa de sobrevivência das árvores foi conseguida pela equipe própria (94,5 %), enquanto a equipe de terceiro alcançou 58,4 %. As mudas produzidas pelo método de produção M3 caracterizam-se pelo maior volume do sistema radicular/substrato, portanto, requerem covas mais profundas e largas, conseqüentemente, acaba exigindo mais do plantador para manter o mesmo padrão de qualidade em todas as covas. Quando isso não ocorre, a taxa de sobrevivência das árvores é afetada. Para evitar este tipo de acontecimento, sugere-se

treinamento para abertura das covas e condicionamento das mudas. Esta conclusão é confirmada por Siocum e Maki (1956); segundo estes autores, em muitos sítios, a profundidade das covas incrementa a sobrevivência de plantações de *P. taeda* e de *P. elliottii*.

4.2.2 DAP

Os dados de DAP tiveram a homogeneidade e a normalidade testadas, onde foi verificada a necessidade de transformação dos dados, conseguida elevando-se a variável observada ao quadrado. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância, cujo resultado (ANEXO 5 - TABELA 4) não indicou efeitos das seguintes fontes de variação: total de falhas, equipes de plantadores e interação equipe de plantadores x método de produção de mudas; desta forma, foram removidos do modelo e realizada análise considerando a fonte de variação “método de produção” (ANEXO 6 – TABELA 5). Com base nos resultados, foi possível verificar que, pelo menos um dos métodos de produção de mudas, foi significativamente diferente dos demais em nível de significância de 5%. O Gráfico 6 mostra o resultado do teste de comparação de médias.



NOTA: Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre métodos de produção de mudas

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 6 – MÉDIAS DE DAP DE *P. taeda* AOS 46 MESES DE IDADE, EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS

FONTE: O autor (2009)

O resultado do teste de comparação de médias mostra que as árvores originadas de mudas produzidas no método de produção M3 foram estatisticamente superiores em DAP em relação àquelas originadas de mudas produzidas em M1, para a mesma idade da muda. Isto evidencia melhor condição do método de produção M3, ou seja, maior quantidade de substrato e, conseqüentemente, de adubo e umidade para o desenvolvimento do sistema radicular na fase de muda. O que, de certa maneira, é confirmada por Carneiro¹ (1987), citado por Gomes *et al.* (2003), que afirma que os tipos de recipientes e suas dimensões exercem influência sobre a qualidade das mudas de espécies florestais, acarretando melhor crescimento da planta no campo. No entanto, houve semelhança nos resultados de DAP das árvores originadas de mudas produzidas em M2 e M3, indicando que o efeito da idade das mudas reduziu a vantagem de M3.

O resultado também indicou que o DAP das árvores originadas de mudas produzidas no método de produção M1 foi semelhante, quando comparado aos

¹ CARNEIRO, J. G. A. Influência de recipientes e de estações de semeadura sobre o comportamento do sistema radicular e dos parâmetros morfológicos de mudas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, 81 p. 1987.

demais métodos de produção de mudas. A semelhança em DAP entre árvores de M1 e M2 indica que a maior permanência no viveiro das mudas produzidas pelo método de produção M2 não conferiu vantagens adicionais; desta forma, utilizando mudas de menor idade, reduz-se os custos de produção. Outra possibilidade de redução de custos, de acordo com Schorn e Formento (2003), poderia ser conseguida utilizando mudas produzidas pelo método de produção M4 (raiz nua), que também apresentaram árvores com DAP semelhante às aquelas originadas em M1. A questão é que este tipo de muda apresenta limitações no seu uso, sendo indicada para poucas regiões em função do clima, além da necessidade de cuidados especiais durante a retirada das mudas, armazenamento e plantio.

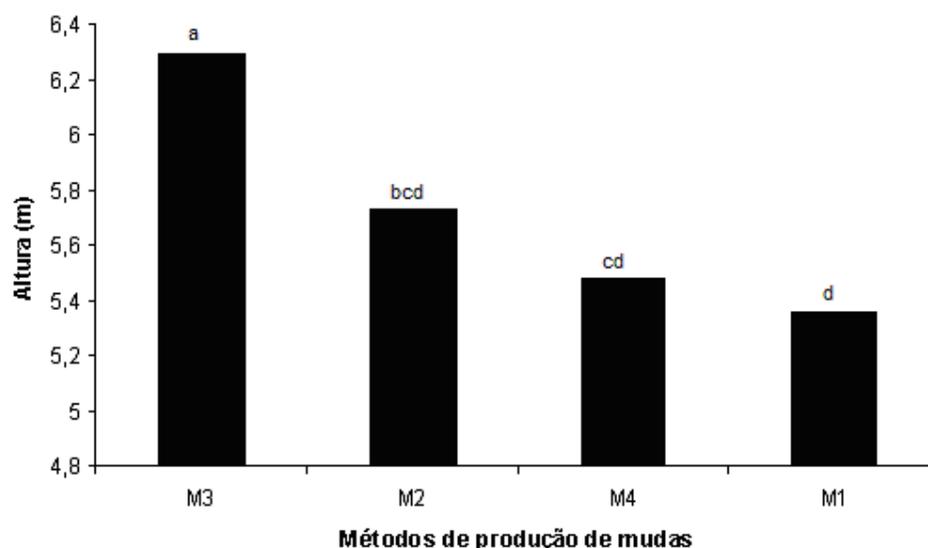
4.2.3 Altura

Os dados de altura das plantas tiveram a homogeneidade e a normalidade testadas, indicando a necessidade de transformação. A melhor transformação foi obtida elevando-se a variável observada ao quadrado.

A análise de covariância (ANEXO 6, TABELA 6) não detectou o efeito da covariável “altura das mudas” e das fontes de variação “equipe de plantadores” e “interação método de produção de mudas x equipe de plantadores”. Desta maneira, estas fontes de variação foram retiradas do modelo, permanecendo apenas a covariável “total de falhas”, que apresentou efeito significativo.

A análise de covariância (ANEXO 7 – TABELA 7) mostrou que existe pelo menos um método de produção de mudas com média de altura diferente dos demais.

Os métodos de produção de mudas foram comparados, constatando superioridade do método de produção M3 (tubetes de 126 cm³). Os demais métodos de produção de mudas não apresentaram diferença significativa entre si (GRÁFICO 7).



NOTA: Letras iguais significam que não há diferença significativa entre os métodos de produção de mudas

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 7 – MÉDIAS DE ALTURA DAS ÁRVORES DE *P. taeda* AOS 46 MESES DE IDADE EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS

FONTE: O autor (2009)

O resultado do teste de comparação de médias indica superioridade em altura das árvores originadas de mudas produzidas pelo método de produção M3 aos 46 meses de idade, em relação aos demais métodos de produção. As condições para o desenvolvimento das mudas no método de produção M3 (volume de substrato, adubação, espaço para o desenvolvimento das raízes, umidade, área ocupada por muda), mesmo não tendo favorecido o crescimento inicial em altura das mudas até o sexto mês de idade, influenciaram na recuperação e até na ultrapassagem em altura das árvores originadas de mudas produzidas nos demais métodos de produção, aos 46 meses de idade.

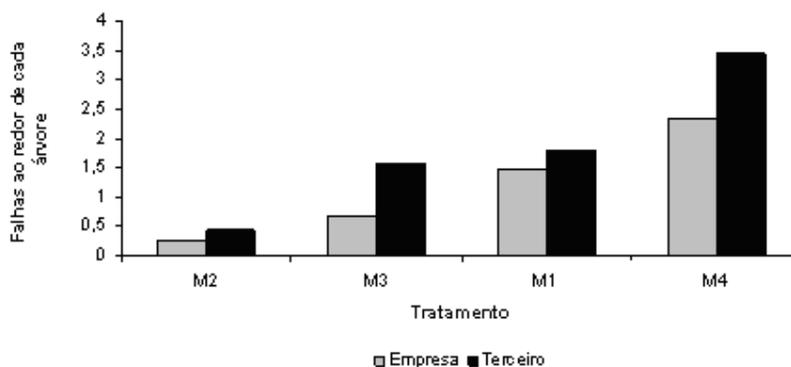
Schmidt-Vogt¹ (1984), citado por Novaes *et al.* (2001), relatou a importância da produção de mudas sem deformação radicular com objetivo de se alcançar

¹ SCHMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E CONTROLE DE QUALIDADE DE SEMENTES E MUDAS FLORESTAIS (1984.: Curitiba). **Métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, FUFPEF, p. 366-378, 1984.

maiores incrementos médios anuais. Isso explica o fato das mudas produzidas pelo método de produção M2 (tubetes de 55 cm³, 10 meses de idade), que, inicialmente, apresentavam maiores médias de altura em função da maior permanência no viveiro, aos 46 meses terem sido superadas pelas mudas produzidas pelo método de produção M3 (tubetes de 126 cm³, 6 meses de idade). Além das limitações radiculares impostas pelo tamanho dos recipientes utilizados pelo método de produção M2, a idade das mudas (10 meses), é outro fator que pode contribuir para a deformação radicular. Parviainen (1984), realizando trabalho de classificação em altura de mudas de pinus, é de parecer que as mudas que mais se desenvolvem em altura no viveiro, não correspondem, necessariamente, às árvores mais altas, alguns anos após o plantio, confirmando o resultado deste trabalho.

As diferentes idades das mudas produzidas pelos métodos de produção M1 e M2 (seis meses e 10 meses respectivamente), não foram suficientes para causar diferença significativa nas alturas das árvores aos 46 meses de idade. Este resultado sugere que, utilizando-se mudas produzidas pelo método M1, poderiam ser obtidos resultados para altura das árvores tão satisfatórios como aqueles das produzidas em M2, e a um custo menor.

O grau de abertura das copas, influenciado pelo número de falhas ao redor de cada árvore, teve influência inversa sobre a altura das plantas (GRÁFICO 8).



LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ - 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ - 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas - 9 meses de idade

GRÁFICO 8 – QUANTIDADE MÉDIA DE FALHAS POR TRATAMENTO

FONTE: O autor (2009)

Na medida em que ocorreu maior número de falhas por método de produção, as árvores tenderam a apresentar alturas menores. Esta constatação é confirmada pelo coeficiente de correlação de Spearman ($r = -0,269^*$) (ANEXO 2), calculado aos 46 meses de idade, entre altura das árvores e o total de falhas ao seu redor. Ressalta-se que o coeficiente de correlação de Spearman foi selecionado para avaliar as relações entre as variáveis observadas (ANEXO 1). De acordo com a classificação de Santos (2007), embora ainda trate-se de uma correlação fraca, indica, porém, a tendência de que as árvores mais altas estejam associadas a menores quantidades de falhas. Como não houve correlação significativa entre DAP e a quantidade de falhas ($r = -0,104$) no espaçamento considerado e aos 46 meses de idade, deve-se priorizar o método de produção de mudas que maximize a sobrevivência, beneficiando desta maneira, o crescimento em altura e, conseqüentemente, a produtividade. Sanquetta *et al.* (2003), estudando a produção de madeira livre de nós em povoamentos de *P. taeda*, em função da densidade de plantio, relata que a altura do povoamento não foi afetado pela densidade de plantio. Entretanto, existe alguma controvérsia com relação aos reflexos do espaçamento sobre o crescimento em altura das árvores. Há casos onde a altura média aumenta com o espaçamento e outros onde os resultados são inversos (EVERT, 1971).

Resultado obtido por Souza (1995) mostra que as espécies *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* aos 8 anos de idade apresentaram aumento na altura dominante com o aumento do espaçamento. Este resultado serve para mostrar a influência da abertura das copas sobre o crescimento em altura das árvores. O resultado obtido pelo autor mostra-se diferente do encontrado neste trabalho, ao considerar o efeito das falhas na altura das árvores. Provavelmente, a diferença tenha ocorrido porque o autor analisou a altura dominante e trabalhou com espaçamento de plantio e não com o espaçamento devido a falhas.

Ao se correlacionar a altura das mudas com altura das plantas obtidas de 64 observações (ANEXO 2), obteve-se um coeficiente de correlação ($r = -0,169$), não sendo significativamente diferente de zero (valor $p = 0,182$). Ao analisar as mesmas variáveis utilizando um conjunto maior de observações (227), foi encontrado o valor $p = 0,03955$, com coeficiente de correlação ($r = -0,136$), aos 46 meses de idade. O resultado mostra uma correlação fraca negativa de acordo com a classificação de Santos (2007).

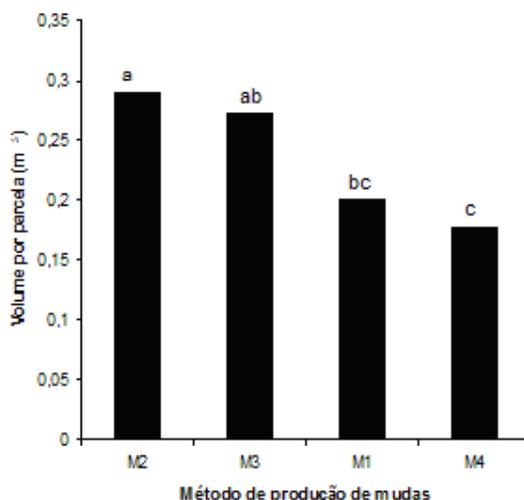
De acordo com o resultado do coeficiente de correlação entre a altura da muda e a altura da árvore aos 46 meses de idade, a determinação da qualidade das mudas utilizando somente um atributo, como por exemplo, a altura das mudas, parece não ser ideal, já que, mudas estioladas podem apresentar desenvolvimento insatisfatório no campo, crescendo menos que as mudas mais baixas, com bom porte morfológico. Essa afirmação é confirmada por Borges *et al.* (1980), que, ao trabalharem com *E. grandis*, também encontraram correlação negativa entre as alturas das mudas no viveiro e altura no campo aos dezoito meses. Os resultados encontrados por estes autores, como o encontrado neste trabalho, podem ser explicados pelo parecer de Parviainen (1984), quando diz que as mudas de pinus que mais se desenvolvem em altura no viveiro não correspondem, necessariamente, às árvores mais altas, alguns anos após o plantio.

A altura das árvores e o seu DAP apresentaram medida de correlação significativa (valor $p < 0,001$) (ANEXO 3) e coeficiente de correlação ($r = 0,704 *$), (ANEXO 2), indicando uma correlação moderada positiva de acordo com a classificação proposta por Santos (2007). Este resultado é semelhante ao encontrado por Barrichelo *et al.* (1977), que, estudando procedências de *P. taeda* na região de Telêmaco Borba – PR, encontraram correlação positiva entre altura e diâmetro das árvores aos quatro anos de idade. Os autores utilizaram o coeficiente de correlação de Spearman, e encontraram resultado pouco superior ao deste estudo ($r_s = 0,86$). Esta correlação mostra a importância de se produzir mudas de boa qualidade, pois isso acarreta bom desenvolvimento da planta no campo, tanto em altura quanto em diâmetro, já que estas duas variáveis estão relacionadas.

4.2.4 Volume por parcela aos 46 meses

Não foi verificada necessidade de transformação dos dados, em função da homogeneidade e da normalidade observada, o que permitiu aplicar a análise de variância (ANEXO 7 – TABELA 8). Com base nos resultados, foi possível verificar que pelo menos um dos métodos de produção de mudas se diferenciou significativamente dos demais. Também se detectou diferença entre as equipes de plantadores. Realizou-se o teste de comparação de médias entre os métodos de

produção de mudas e equipes de plantadores, cujos resultados são apresentados nos Gráficos 9 e 10.



LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas de raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 9 – MÉDIAS DE VOLUME POR PARCELA EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO DE MUDAS

FONTE: O autor (2009)

As plantas originadas de mudas produzidas em recipientes de 55 cm³, com 10 meses de idade (M2), apresentaram superioridade no volume por parcela, igualando as plantas originadas de mudas produzidas pelo método de produção M3. Este resultado, no entanto, foi influenciado pela taxa de sobrevivência, que, a princípio, apresentou diferença significativa entre os dois métodos de produção comparados, com vantagem para M2. Portanto, uma interferência principalmente durante o plantio de mudas produzidas em M3, buscando maximizar a sobrevivência das árvores originadas destas mudas, acarretaria em maior volume por parcela.

Barnett (1983), trabalhando com mudas de três espécies de pinus produzidas em recipientes, verificou que o desempenho no crescimento no campo foi superior, na medida em que as dimensões das mudas, no ato do plantio, também foram. Portanto, diferente do encontrado neste trabalho, que apresentou altura das mudas diferentes, onde as mudas produzidas em M2 foram superiores aquelas

produzidas em M3, e, no entanto, aos 46 meses de idade os volumes por parcela foram semelhantes. Resultados parecidos com o de Barnett (1983) foram encontrados por Richter¹ (1971), citado por Novaes *et al.* (2001), que pesquisando mudas de *Pseudotsuga menziesii*, verificou que as mudas mais altas apresentaram maiores taxas de crescimento no campo, não refletindo os resultados deste trabalho, já que houve semelhança em volume por parcela entre M2 e M3.

Quando são comparados os volumes por parcela de árvores originadas de mudas de diferentes idades (M1 e M2), verifica-se vantagem das mudas de maior idade (M2). Este resultado é esperado, já que, em todas as variáveis que compuseram o volume por parcela (sobrevivência, DAP e altura das árvores), as árvores originadas de mudas produzidas em M2 se sobressaíram, mesmo não apresentando diferença estatística. Desta forma, priorizando a produtividade, devem ser usadas mudas de maior idade, desde que o custo de manter as mudas no viveiro seja viável.

Com relação ao desempenho das equipes de plantadores, o Gráfico 10 mostra superioridade do volume por parcela para a equipe própria (empresa).

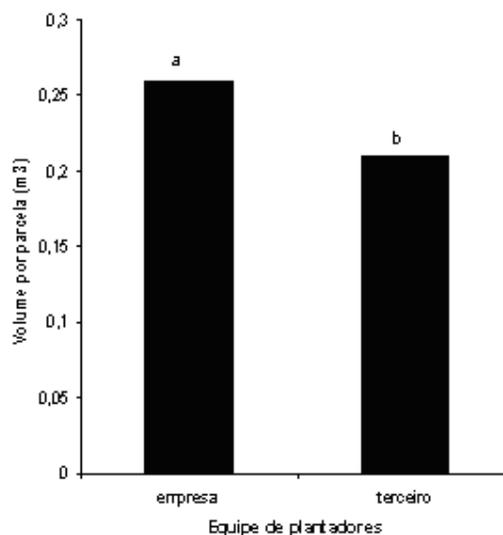


GRÁFICO 10 – MÉDIAS DE VOLUME POR PARCELA EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

¹ RICHTER, J. *Das Umsetzen von Douglasien in Kulturstadium*. Allg. Forst.-u. Jagdztg, Frankfurt, v. 142, p. 63-69, 1971.

A diferença encontrada entre as equipes de plantadores está relacionada com a porcentagem de sobrevivência das árvores originadas de mudas produzidas pelo método de produção M3, que também apresentou diferença entre as equipes de plantadores. Plantando mudas produzidas neste método de produção, a equipe própria alcançou taxa de sobrevivência de 94,5% para árvores aos 46 meses, enquanto a equipe do terceiro alcançou apenas 58,4%. O desempenho das equipes de plantadores, tanto para sobrevivência, quanto para volume por parcela, pode ter sido influenciado pelas dimensões do sistema radicular das mudas. A necessidade de plantar muda com sistema radicular maior, obtida de recipiente diferente daquele utilizado costumeiramente, faz com que a rotina do trabalhador seja alterada; isso ocasiona redução do desempenho, pois é exigida abertura de cova mais larga e mais profunda e o plantador não está preparado para realizar esta operação repetidas vezes, mantendo o mesmo padrão de qualidade nas covas. Em função disso, a deficiência no plantio pode gerar desconforto e má qualidade na operação, gerando, como consequência, a morte da planta.

Tendo em vista a necessidade de mudas com qualidade, deve-se priorizar aquelas que propiciem bom desenvolvimento no campo, tanto em altura, quanto em diâmetro, pois estas variáveis estão relacionadas com o volume das árvores, como pode ser confirmado pelo coeficiente de correlação de Spearman entre estas variáveis.

O diâmetro e o volume individual da árvore apresentaram forte correlação ($r = 0,972^*$), de acordo com Santos (2007). A correlação entre o DAP médio por parcela e o volume por parcela foi moderada, mas também significativa ($r = 0,578^*$) (ANEXO 2).

A correlação entre a altura das plantas e o volume individual, também foi considerada forte ($r = 0,827^*$). De acordo com os resultados destas correlações, deve-se priorizar métodos de produção que garantam mudas de boa qualidade, já que mudas com este perfil tendem a apresentar bom desenvolvimento no campo, tanto em altura, quanto em diâmetro da árvore. Bayley e Kietzka (1997) e Jacobs *et al.* (2005) reforçam este argumento quando dizem que a altura é uma das variáveis largamente usadas para avaliar a qualidade de mudas no viveiro, e, em muitos casos, esta variável têm sido correlacionada com sobrevivência e/ou crescimento após o plantio. No entanto, de acordo com Gomes *et al.* (2002), a altura contribui com apenas 50,3% para a qualidade das mudas, e a relação altura/diâmetro do colo

com 32,9%, portanto, juntos contribuem com aproximadamente 83%, neste caso, representando com maior segurança a qualidade das mudas.

4.2.5 Raízes finas

Os dados de peso das raízes finas necessitaram de transformação $\log(x+1)$ para serem submetidos à análise de variância. O resultado (ANEXO 7 – TABELA 9) indicou que a produção de biomassa de raízes finas não foi influenciada pelos tratamentos estudados. Isto implica dizer que o tamanho dos recipientes e as idades avaliadas, bem como as mudas em raízes nuas, não interferiram na produção de raízes finas em avaliação aos 46 meses de idade das árvores. A possibilidade de distribuição homogênea das raízes finas na área estudada em função da matéria orgânica presente no solo é explicada por Bakker *et al.* (2006), que concluíram que a distribuição de raízes finas está relacionada com a presença de nutrientes minerais no solo, principalmente na matéria orgânica. Da mesma forma, West *et al.* (2004) afirmaram que a produção de raízes finas de *P. palustris* Mill. foi maior na camada mais superficial do que em camadas mais profundas do solo. Resultados parecidos foram encontrados em análise preliminar de campo para determinação da profundidade de amostragem das raízes finas de *P. taeda* empregada no presente trabalho.

O coeficiente de correlação de Spearman, usado para medir o grau de associação entre a ocorrência de falhas ao redor das árvores e a produção de biomassa das raízes finas, não indicou correlação entre estas variáveis (valor $p = 0,96$). Este resultado era esperado, pois todas as quatro amostras foram realizadas perto do tronco (0,50 m), e o espaço resultante da morte da árvore vizinha estaria em média a 2 m, descontando os 0,50 m da amostragem.

4.2.6 Raízes grossas

4.2.6.1 Vista da base

Depois de testadas a homogeneidade e a normalidade dos dados, verificou-se que não haveria necessidade de transformação. Assim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANEXO 8 – TABELA 10), onde não foi detectada diferença entre os tratamentos para a arquitetura do sistema radicular visto da base.

Os métodos de produção de mudas e equipes de plantadores não afetaram a arquitetura do sistema radicular. Isso significa que as mudas produzidas nos recipientes menores (55 cm³) se igualaram em termos de qualidade da arquitetura radicular, com as mudas produzidas em recipientes maiores (126 cm³). No entanto, em trabalhos realizado por Leles *et al.* (2000) e Barros *et al.* (1978), que, respectivamente, ao trabalharem com mudas de *Eucalyptus* spp. e *E. grandis*, observaram que o volume do recipiente é importante para o crescimento do sistema radicular e também da parte aérea das mudas na fase de viveiro e até na fase de campo. Porém, Barros *et al.* (1978) comenta que, com o passar do tempo as diferenças entre a altura das mudas no campo podem diminuir, reduzindo a vantagem dos recipientes de maior volume.

Apesar de não ter sido encontrada diferença entre os tratamentos, é importante observar que, quando as notas foram divididas em três classes (notas <10), (10 ≤ notas < 20) e (20 ≤ notas ≤ 30), foi verificada grande quantidade de notas dentro da classe intermediária (Gráfico 11). A maior frequência destas notas estava relacionada com as raízes das árvores originadas de mudas produzidas em recipientes de 55 cm³, plantadas pela equipe própria. Este resultado indica que melhorias podem ser implementadas objetivando elevar a qualidade do sistema radicular das mudas e conseqüentemente das árvores. A adoção de métodos de produção de mudas que cause menor restrição radicular, seguido de maior cuidado na hora do plantio, pode contribuir para que a qualidade do sistema radicular das plantas seja melhorada.

Árvores originadas de mudas com 10 meses e 6 meses de idade, produzidas em recipientes de 55 cm³, não diferiram nas notas atribuídas ao sistema radicular para vista da base aos 46 meses de idade. Isto mostra que a permanência da muda

por mais tempo no viveiro, não causou efeito suficientemente forte a ponto de afetar a arquitetura do sistema radicular até a época da avaliação. No entanto, de acordo com o Gráfico 11, o tratamento M2 propiciou maior número de notas na classe superior.

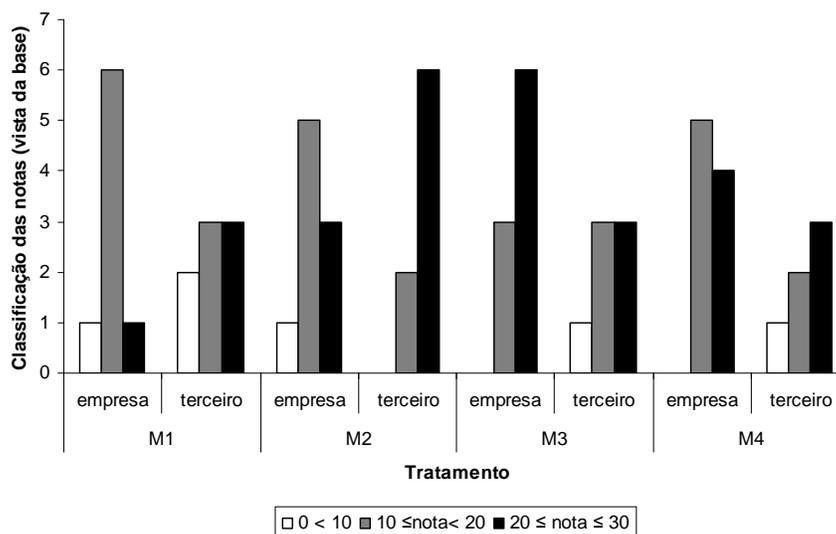


GRÁFICO 11 – DISTRIBUIÇÃO DAS NOTAS POR CLASSE – VISTA DA BASE

FONTE: O autor (2009)

As árvores originadas de mudas em raízes nuas, mesmo sem proteção do sistema radicular no momento do plantio, não diferiram na nota da base do sistema radicular aos 46 meses de idade, quando comparadas com mudas produzidas nos recipientes maiores (126 cm³), a princípio, mais protegidas e mais aptas ao desenvolvimento do enraizamento. No geral, o resultado do Gráfico 11 sugere possibilidade de melhorias para ambos os métodos, pois apresentam muitas notas dentro da classe intermediária.

Neves *et al.* (2005), ao estudarem o sistema radicular da acácia-negra pela vista de topo, encontraram diferenças significativas entre os tratamentos que empregaram fértil-pot + solo adubado, paper-pot + solo adubado e laminado acondicionado em caixa de madeira + solo adubado. As diferenças encontradas pelos autores, com relação aos resultados obtidos neste trabalho, podem estar relacionadas aos tipos de recipientes analisados e à adubação. Vale ressaltar que o perfil fotográfico analisado pelos autores (topo) equivale ao mesmo perfil analisado

neste trabalho (base); o que mudou foi o sistema utilizado para posicionamento das raízes ao serem fotografadas.

Dentre as variáveis de crescimento, a que apresentou a maior correlação com as variáveis morfológicas das raízes foi o volume individual, com coeficiente de correlação ($r = 0,661$) (ANEXO 2), ao ser correlacionado com a nota da base. A nota da base também se correlacionou com o DAP ($r = 0,651$). Ambas as correlações são consideradas moderadas por Santos (2007).

Devido à variável “volume” ser mais difícil de ser medida, duas conclusões importantes podem ser tiradas do resultado da correlação do DAP com a nota da base. Uma delas está relacionada à qualidade e a outra, a um ferramental na pesquisa em arquitetura de raízes.

Anghinoni e Meurer (1999) dão mais detalhes sobre o sistema radicular, reforçando a importância da associação entre as variáveis morfológicas de crescimento (DAP) e as variáveis morfológicas das raízes (nota da base). Segundo os autores, a aquisição de nutrientes pelas plantas no solo, ocorre através do crescimento das raízes e por sua ramificação. A quantidade absorvida é determinada pela área superficial total de raízes e pela taxa de absorção por unidade de superfície de raiz. Portanto, uma árvore com sistema radicular bem distribuído e com boa densidade, tem mais condições de se desenvolver. Ao contrário, a restrição do sistema radicular limita o crescimento e o desenvolvimento de várias espécies, em virtude da redução da área foliar, altura e produção de biomassa (REIS *et al.*, 1989).

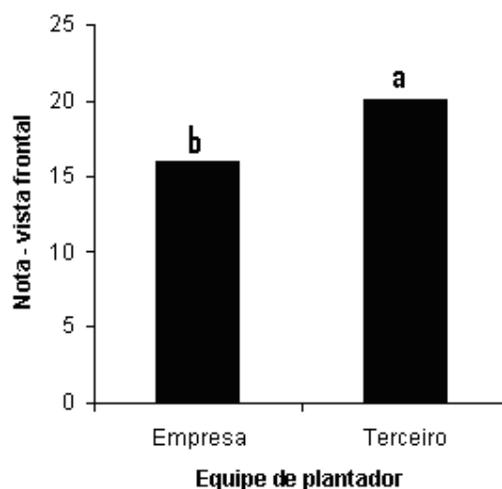
Rubira e Bueno (1996) citam que o desenvolvimento da planta é resultado do seu sistema radicular e que este precisa ser dotado de boa arquitetura. A afirmação dos autores reflete no resultado deste trabalho, pois a correlação moderada encontrada entre a nota da base e o DAP indica tendência de que, quanto melhor for a arquitetura do sistema radicular, maior será o diâmetro e, por consequência, o volume da árvore, já que DAP e volume estão fortemente correlacionados. Esta informação prioriza a busca por métodos de produção que resultem em mudas com bom desenvolvimento radicular, pois, quanto maior for a área de absorção das raízes, maior será o crescimento da árvore.

O DAP é uma variável de fácil medição no campo e de maior precisão para avaliação, sua correlação com a nota da base, permite inferir sobre a qualidade do sistema radicular. A relação da nota da base e as notas frontal e lateral reforçam a

importância da medição do DAP. De certa forma, em trabalhos rápidos, que não exijam muita precisão, medir o DAP e avaliar a base da árvore sem a remoção da mesma, pode substituir métodos de avaliação de raízes mais trabalhosos, que muitas vezes requerem a remoção da árvore.

4.2.6.2 Vista frontal

Depois de testadas a homogeneidade e a normalidade dos dados, foi verificado que não haveria necessidade de transformação. Desta forma, as notas da vista frontal foram submetidas à análise de variância (ANEXO 8 – TABELA 11), cujo resultado mostrou diferença somente entre as equipes de plantadores. A comparação de médias é mostrada no Gráfico 12.



NOTA: Letras iguais significam que não há diferença nas médias das equipes de plantadores

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 12 – MÉDIAS DE NOTAS DA VISTA FRONTAL EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

O gráfico de comparação de médias indica que a equipe de plantadores de terceiro alcançou estatisticamente uma nota maior para vista frontal do sistema radicular das plantas de *P. taeda* aos 46 meses de idade, quando comparado com a nota obtida pela equipe de plantadores própria.

A diferença detectada entre as equipes de plantadores pode ter sido influenciada pela maneira de acomodação da muda na cova. O pisoteio com maior intensidade pode ter resultado numa maior compactação do solo, o que gerou maior restrição radicular, portanto, interferindo no desenvolvimento radicular das mudas plantadas pela equipe treinada.

Dedecek¹ e Gava (1997) e Reis *et al.* (1989), citados por Paulino *et al.* (2003), relacionando as características físicas do solo ao crescimento radicular de plantas de eucalipto, verificaram que a compactação do solo altera a sua estrutura, dificultando o crescimento e a distribuição de raízes. Ainda segundo os autores, caso haja restrições ao desenvolvimento radicular, a má formação inicial das raízes pode persistir após o plantio, prejudicando o desenvolvimento das plantas no campo. Camargo² e Alleoni (1997) e Malinovski³ (1996), também citados pelos autores, verificaram que a compactação do solo influencia negativamente o crescimento das raízes das plantas. Neste sentido, o plantio das mudas deve ser realizado sempre na posição vertical, de maneira que todo o sistema radicular seja coberto por solo e que haja o mínimo de compactação (BUENO, 2009).

Observa-se na Tabela 6 que, entre as 29 plantas remanescentes, cujas mudas foram plantadas pela equipe terceirizada, 20,7 % tiveram seus sistemas radiculares avaliados dentro da classe inferior, ou seja, obtiveram notas inferiores a 10; 31,0 % foram avaliadas dentro da classe intermediária ≥ 10 e < 20 ; e 48,3 % foram avaliadas dentro da classe superior ≥ 20 e ≤ 30 .

1 DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Compactação do solo pela colheita de eucalipto: sua avaliação e efeito na produtividade da rebrota. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Proceeding...** Salvador: IUFRO, 1997. p. 63-68.

2 CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspar, 1997. 132 p.

3 MALINOVSKI, J. R. Compactação dos solos usados para fins florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia. Resumos expandidos... Águas de Lindóia: 1996. CD-Rom.

TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO SISTEMA RADICULAR DO *P. taeda*
46 MESES DE IDADE – VISTA FRONTAL

	EQ. PRÓPRIA					EQ. TERCEIRO						
	M1	M2	M3	M4	%	M1	M2	M3	M4	%		
20 ≤ notas ≤ 30	1	3	6	4	40,0	3	6	2	3	48,3		
10 ≤ notas < 20	4	3	2	3	34,3	2	2	4	1	31,0		
Notas < 10	3	3	1	2	25,7	3	0	1	2	20,7		
Total	8	9	9	9	35	100,0	8	8	7	6	29	100,0

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

FONTE: O autor (2009)

Considerando um número maior de plantas remanescentes (35), plantadas pela equipe própria, 25,7% apresentaram notas para o sistema radicular dentro da classe inferior, 34,3% dentro da classe intermediária e 40,0% dentro da classe superior (TABELA 6). Estes resultados mostram que a equipe própria apresentou maior porcentagem de árvores com notas do sistema radicular dentro das classes inferior e intermediária, totalizando 60,0%, contra 51,7 % da equipe terceirizada. Isso significa dizer que, a empresa terceirizada alcançou um número maior de notas para a arquitetura radicular dentro da classe superior. Este resultado é confirmado pela ponderação dos resultados, cuja média ponderada das observações dentro da classe inferior e intermediária foi de 18,3, ou seja, a equipe própria alcançou 2,7 observações acima da média ponderada e a equipe terceirizada 3,3 observações abaixo da média ponderada das observações, o que equivale a 40,0% e 48,3 % respectivamente de árvores dentro da classe superior. Este resultado mostra de certa forma que, em ambos os resultados, ainda há margens para melhorias no método de produção de mudas e no plantio, visando produzir plantas com arquitetura do sistema radicular bem mais estruturada.

Ao contrário da restrição do sistema radicular que limita o crescimento e o desenvolvimento da planta, em virtude da redução da área foliar, altura e produção de biomassa (REIS *et al.*, 1989), a planta com sistema radicular bem desenvolvido, assimila melhor os nutrientes e também propicia melhor ancoragem, conseqüentemente, melhorando sua produtividade.

4.2.6.3 Vista lateral

As notas da vista lateral foram submetidas à análise de variância após ter sido verificada suas homogeneidade e normalidade. O resultado mostrou diferença significativa entre as equipes de plantadores e interação entre equipes de plantadores x métodos de produção de mudas (ANEXO 8 - TABELA 12).

O Gráfico 13 mostra a diferença entre as equipes de plantadores em relação a nota da vista lateral.

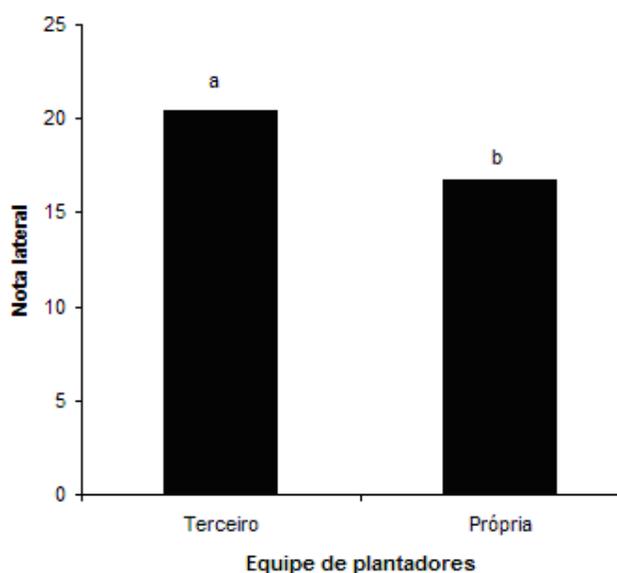
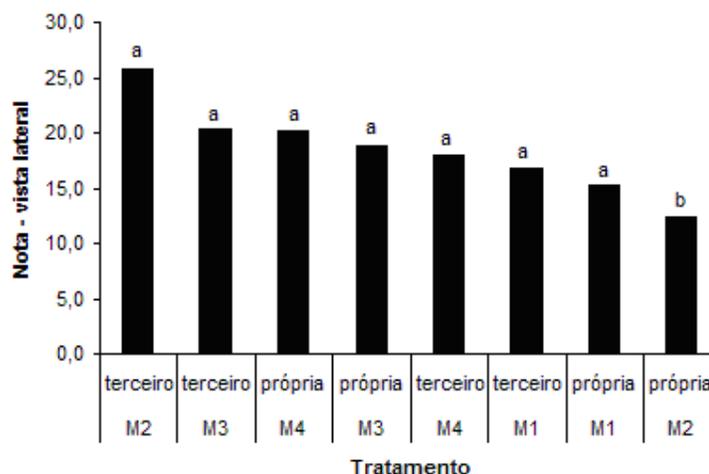


GRÁFICO 13 – MÉDIAS DE NOTAS PARA A VISTA LATERAL EM FUNÇÃO DAS EQUIPES DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

O resultado do teste de comparação de médias mostra que a equipe de plantadores terceirizada apresentou nota superior para a vista lateral do sistema radicular das plantas de *P. taeda*, avaliada aos 46 meses de idade. O resultado é semelhante ao encontrado na análise da vista frontal, reforçando a tese de que, pode ter havido pisoteio com maior intensidade no plantio realizado pela equipe treinada, conduzindo a maior compactação e, conseqüentemente, maior restrição, interferindo na arquitetura radicular das plantas e provocando a diferença estatística entre as equipes de plantio.

Em função da significância da interação, o teste de comparação de médias foi desdobrado (GRÁFICO 14).



LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 14 – MÉDIAS DE NOTAS PARA VISTA LATERAL EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PRODUÇÃO E EQUIPE DE PLANTADORES

FONTE: O autor (2009)

A arquitetura das raízes das árvores analisada pela vista lateral foi influenciada pela equipe de plantadores ao plantarem mudas produzidas pelo método de produção M2. As mudas produzidas por este método se distinguem das demais pela maior idade; isto pode caracterizar um sistema radicular com maior grau de restrição, tendo em vista que foi utilizado recipiente de menor tamanho (55 cm³); porém, não foi detectada diferença entre os métodos de produção de mudas. Assim, a arquitetura lateral do sistema radicular das árvores originadas de mudas produzidas pelo método de produção M2 pode ter sido influenciada pela interação entre o tamanho do recipiente, a idade da muda e o tipo de plantio realizado por uma das equipes de plantadores. Neste caso, o sistema radicular de mudas produzidas em recipientes menores, com maior idade, foi mais sensível ao pisoteio no momento do plantio, do que aquelas mudas de menor idade e também aquelas produzidas em recipientes maiores. Resultado encontrado por Neves *et al.* (2005), ao estudarem os

efeitos de substratos e recipientes na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra, concluem que o desenvolvimento lateral das raízes foi afetado pelo recipiente utilizado. Os resultados encontrados pelos autores em relação aos deste trabalho não estão de acordo, já que não identificou diferença entre os métodos de produção de mudas e sim interação entre as equipes de plantadores e o método de produção de mudas. Os autores encontraram diferenças significativas na arquitetura ao compararem fértil-pot, paper-pot e tubetes redondos, ambos com solo adubado, sendo que nos tubetes, o substrato foi composto, além do solo adubado, de casca de acácia esgotada + vermiculita.

De modo geral, o resultado sugere que mudas com 10 meses de idade produzidas em tubetes de 55 cm³, quando analisadas pela vista lateral aos 46 meses de idade, apresentam as mesmas condições para o desenvolvimento do sistema radicular, quando comparadas àquelas mudas produzidas no mesmo tipo de recipiente, com 6 meses de idade. Os dados ainda permitem concluir que, apesar do método de produção M3 (tubetes de 126 cm³) apresentar maior capacidade volumétrica em relação ao método de produção que utilizou tubetes menores (55 cm³), o sistema radicular das plantas originadas nestes recipientes não diferiu na nota para a vista lateral na avaliação aos 46 meses de idade. Este resultado dá condições para produção de mudas utilizando recipientes menores; portanto, com custos mais baixos, mantendo padrão semelhante da arquitetura do sistema radicular das plantas originadas do método de produção M3.

Apesar de não ter sido detectada diferenças nos métodos de produção de mudas, várias plantas se enquadraram dentro da classe inferior e intermediária das notas para o sistema radicular, portanto, com possibilidade de melhoria (TABELA 7).

TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO SISTEMA RADICULAR DO *P. taeda* 46 MESES DE IDADE – VISTA LATERAL

	EQ. PRÓPRIA					EQ. TERCEIRO						
	M1	M2	M3	M4	%	M1	M2	M3	M4	%		
20 ≥ notas ≤ 30	2	1	5	6	40,0	4	7	4	3	62,1		
10 ≥ notas <20	5	5	3	3	45,7	3	1	2	3	31,0		
Notas < 10	1	3	1	0	14,3	1	0	1	0	6,9		
Total	8	9	9	9	35	100,0	8	8	7	6	29	100,0

LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

FONTE: O autor 2009

Observa-se na Tabela 7 que, entre as 35 plantas remanescentes, cujas mudas foram plantadas pela equipe própria, 14,3 % tiveram seus sistemas radiculares avaliados dentro da classe inferior, ou seja, obtiveram notas inferiores a 10; 45,7 % das plantas foram avaliadas dentro da classe intermediária (notas ≥10 e < 20) e 40,0 % das notas corresponderam à classe superior (≥ 20 e ≤30). Entre as 29 plantas remanescentes, cujas mudas foram plantadas pela equipe terceirizada, 6,9 % tiveram seus sistemas radiculares avaliados dentro da classe inferior; 31,0 % dentro da classe intermediária e 62,1 % dentro da classe superior. A ponderação dos resultados das notas, principalmente para a classe superior, mostra diferença entre as equipes de plantio, uma vez que, a equipe terceirizada apresentou maior porcentagem de árvores com sistema radicular dentro da classe superior, totalizando 18 observações, ou seja, 2,2 observações acima da média ponderada (15,8). A equipe própria apresentou 1,8 observação abaixo da média ponderada. Esta diferença nas observações indica que houve interferência no modo de plantar sobre as raízes, podendo ter ocorrido maior compactação quando as mudas foram plantadas pela equipe própria.

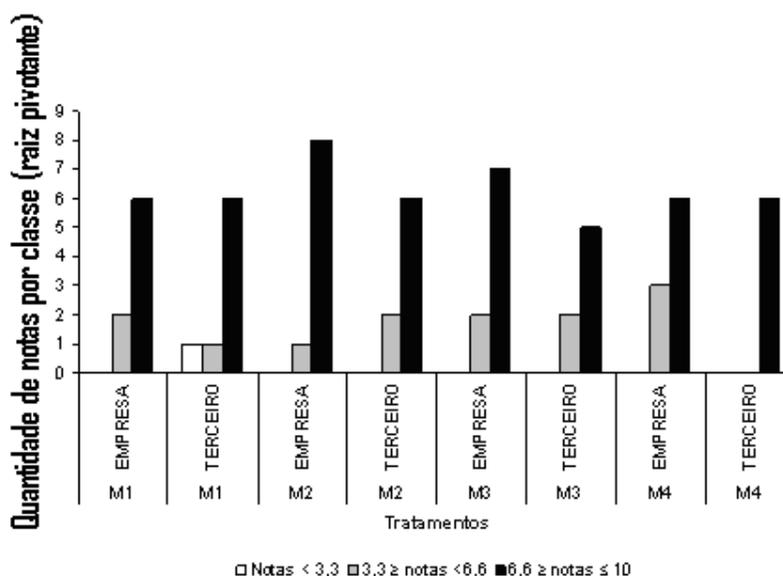
De uma maneira geral, o treinamento para o plantio oferece vantagens na produção florestal, no entanto, é necessário ter cautela, principalmente com a intensidade de pisoteio, uma vez que, o excesso pode afetar o desenvolvimento da arquitetura do sistema radicular e, conseqüentemente, a produtividade das plantas.

4.2.6.4 Raiz pivotante

As notas atribuídas às raízes pivotantes foram transformadas elevando ao quadrado, sendo posteriormente submetidas à análise de variância. O resultado da ANOVA (ANEXO 9 - TABELA 13), não mostrou diferença significativa entre os tratamentos.

Não foi verificado efeito dos tratamentos sobre a arquitetura das raízes pivotantes. Isso significa dizer que mudas produzidas em raízes nuas apresentam aos 46 meses, o mesmo padrão de arquitetura do que as mudas produzidas em recipiente de 55 cm³, de 126 cm³, ou daquelas que permaneceram mais tempo no viveiro.

As notas para as raízes pivotantes foram divididas em três classes (notas <3,3; 3,3 ≤ notas < 6,6; 6,6 ≤ nota ≤ 10), sendo encontrada a maioria das notas na classe superior (6,6 a 10), diferindo muito pouco entre os tratamentos (GRÁFICO 15).



LEGENDA:

- M1 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 6 meses de idade
- M2 – mudas produzidas em tubetes de 55 cm³ – 10 meses de idade
- M3 – mudas produzidas em tubetes de 126 cm³ – 6 meses de idade
- M4 – mudas em raízes nuas – 9 meses de idade

GRÁFICO 15 – DISTRIBUIÇÃO DAS NOTAS POR CLASSE – RAIZ PIVOTANTE

FONTE: O autor (2009)

Durante a avaliação em campo, não foi encontrada quantidade expressiva de raízes pivotantes dobradas ou enovelada; porém, foi constatado que, na maioria dos sistemas radiculares, havia mais de uma raiz pivotante. Geralmente, a maior apresentava comprimento superior a um metro. Em determinados casos, foram encontradas até mais de três raízes pivotantes por árvore. Este resultado significa que não houve restrições dos recipientes avaliados na formação da raiz pivotante a ponto de provocar diferenças entre os tratamentos.

4.3 ANÁLISE GERAL ENVOLVENDO AVALIAÇÃO DAS MUDAS E DAS PLANTAS AOS 46 MESES DE IDADE

A Tabela 8 dá uma visão geral dos resultados ao relacionar as fontes de variação (método de produção de mudas, equipes de plantio e suas interações) com as variáveis analisadas, expressa através da significância estatística.

TABELA 8 – TABELA DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS ANALISADAS EM FUNÇÃO DAS FONTES DE VARIAÇÃO (MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS, EQUIPES DE PLANTADORES E INTERAÇÃO ENTRE ESTAS DUAS)

Fonte de variação	Altura das mudas	AVALIAÇÃO AOS 46 MESES DE IDADE								
		% Sobrevivência	DAP	Altura	Volume por parcela	Raízes finas	Nota da base	Nota frontal	Nota lateral	Nota pivotante
Método de produção de mudas	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Equipes de plantadores	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
Interação método de produção X equipes de plantadores	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Legenda: * significativo a 5%
ns = não significativo

FONTE: O autor (2009)

O resultado (TABELA 8), de maneira resumida, indica que os métodos de produção influenciaram na altura das mudas de *P. taeda*, na sua sobrevivência e nas variáveis de crescimento (altura da árvore, DAP e volume), mas não influenciaram na arquitetura do sistema radicular aos 46 meses de idade.

As equipes de plantadores tiveram influência na sobrevivência das árvores de *P. taeda* aos 46 meses de idade, no volume por parcela e na arquitetura do sistema radicular (vista frontal e lateral).

Dentre as variáveis analisadas, somente a sobrevivência e a arquitetura do sistema radicular (vista lateral) foram influenciadas pela interação entre método de produção de mudas e equipes de plantadores.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O método de produção de mudas afeta o crescimento em DAP, a altura e o volume por parcela, mas não afeta o peso da biomassa das raízes finas e a arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda* avaliadas aos 46 meses de idade.

O método de produção M3 (recipientes de 126 cm³, mudas com 6 meses de idade) se destaca em termos de crescimento.

As árvores originadas de mudas com 6 meses e 10 meses de idade, produzidas em recipientes de 55 cm³, apresentam crescimento em DAP e altura semelhante; porém, o volume por parcela é diferente aos 46 meses de idade.

As árvores originadas de mudas produzidas em recipientes de 126 cm³, com 6 meses de idade, apresentam maior crescimento em DAP e altura, e volume por parcelas semelhantes, quando comparadas com árvores de *P. taeda* originadas de mudas produzidas em recipientes de 55 cm³, de mesma idade, avaliadas aos 46 meses após o plantio.

O treinamento oferecido às equipes de plantadores melhora a taxa de sobrevivência, por consequência, o volume por parcela. No entanto, é necessário ressaltar que, o excesso de pisoteio pode afetar o desenvolvimento da arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda*.

O DAP apresenta alta correlação com o volume individual e o DAP médio da parcela apresenta correlação moderada com o volume médio da parcela, avaliado aos 46 meses de idade.

A arquitetura do sistema radicular de árvores de *P. taeda* com 46 meses de idade pode ser avaliada por meio de escavação, com moderada precisão, atribuindo-se nota para a vista de topo, sem que haja a necessidade da remoção da árvore, reduzindo custo e tempo.

6 RECOMENDAÇÕES

Partindo do princípio de que estudar a arquitetura das raízes é uma tarefa difícil, que consome tempo, em função das restrições ambientais e técnicas, recomenda-se medir o DAP das plantas e avaliar a arquitetura do sistema radicular com base na avaliação da vista da base. O sistema radicular é exposto por meio da escavação e, em seguida, são obtidas fotografias somente da parte de cima (FIGURA 22 A e B). Posteriormente, as fotografias são avaliadas em função dos atributos de interesse, onde são atribuídas notas. Estas avaliações evitam que as árvores sejam sacrificadas.



FIGURA 22 – REMOÇÃO DO SOLO E EXPOSIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE *P. taeda* (A e B)

FONTE: O autor (2008)

Neste caso, somente a remoção superficial do solo e exposição das raízes seria suficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2007. 90 p.: 21 cm. Brasília, 2008. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF08-BR.pdf>>. Acesso em: 22/01/2009.

ADAMS, M. B.; PENNELL, K. D.; CAMPBELL, R. G. **Fine root distribution in a young loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stand: Effects of preplant phosphorus fertilizations.** p. 275-278, 1998. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/78231762h6401u63/fulltext.pdf?page=1>>. Acesso em: 22/01/2009.

ADEGBIDI, H. G., COMERFORD, N. B., JOKELA, E. J., BARROS, N. F.: **Root Development of Young Loblolly Pine in Spodosols in Southeast Georgia.** *Soil Science Society of América*, p. 596-604, 2004.

ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 1999, p. 57-87.

APHALO, P. J.; RIKALA R. Apparent quality and actual field performance of silver-birch seedlings grown in containers of different volume and at different spacings. **New Forests**, 25, p. 93-108, 2003.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. *Pinus taeda* L. In: BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. (Coord.). **Silvics of North America.** Washington: USDA, Forest Service, 1990. (USDA. For. Serv. Agric. Handbook, (654). v. 1, p. 497-512.

BAYLEY, A. D. e KIETZKA, J. W. Stock quality and field performance of *Pinus patula* seedlings produced under two nursery growing regimes during seven different nursery production periods. **New Forest** 13: p. 341–356, 1997.

BAKKER, M. R. Fine-root parameters as indicators of sustainability of forest ecosystems. **Forest Ecology and Management** 122, p. 7–16, 1999.

BAKKER, M. R.; AUGUSTO, L.; ACHAT, D. L. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. **Plant Soil**, v. 286, p. 37 -51, 2006.

BALENSIEFER, M. Estudo de diferentes métodos de plantio com *Pinus taeda* na região de Guarapuava. 100 p., Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1978.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE).

Programa de suprimento florestal para a cadeia produtiva da madeira. Maio/2004.

Disponível em:

<http://www.brde.com.br/estudos_e_publicacoes/Programa%20de%20Suprimento%20Florestal%20para%20a%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Madeira.pdf>. Acesso em: 25/10/2008.

BARROS, N. F.; BRANDI, R. M.; COUTO, L.; de REZENDE, G. C. Efeitos de recipientes na sobrevivência e crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maidem, no viveiro e no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n. 2, p. 141-151, 1978.

BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J. Estudos de procedência de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF** n. 15, p. 1-14, 1977.

BARNETT, J. P. Relating seedling morphology and physiology of container grown southern pines to field success. Separata de: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (1983: Portland). **Proceedings**. New Orleans: USDA. For. Serv. Southern Forest Experiment Station., 1983, p. 405-409.

BENNETT, J. N., ANDREW, B.; PRESCOTT, C. E. Vertical fine root distributions of western redcedar, western hemlock, and salal in old-growth cedar-hemlock forests on northern Vancouver Island. **Canadian Journal Forest Research**, 32 : 1208-1216, 2002.

BEZERRA, F. C.; BEZERRA, G. S. S. **Efeito do substrato na formação de mudas de meloeiro (*Cucumis melo*)**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000, 4 p. (Pesquisa em andamento, 78).

BLAKE, T. J. **Growth related problems of aging and senescence in the fast growing trees grown on short rotations**. Stockholm: National Swedish BO Energy Source Development, 1981, 43 p. (Int. Energy Agency Sci. Report, NE. 1981, v. 21).

BLOCK, R. M., A.; VAN REES, K. C. J.; KNIGHT, J. D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. **Agroforestry Systems**, v. 67, p. 73-84, 2006.

BOGNOLA, I. A. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2007.

BÖHM, W.; MADUAKAR, H.; TAYLOR, H. M. Comparison of five methods for characterizing soybean rooting density and development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 415-419, 1977.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Springer-Verlag, Berlin. 188 p. 1979.

BORGES, R. de C.; BRUNE, A.; SILVA, J. C.; BORGES, E. E. de L. Correlação entre caracteres de crescimento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 2, p.146-156, 1980.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society** (B), 26 (2): 211–252, 1964.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. 32 p. Monograph. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 1996.

BRISSETTE, J. C. Summary of discussions about seedlings quality. Separata de: SOUTHERN NURSERY CONFERENCES (1984.: Alexandria, LA). **Proceedings**. New Orleans: USDA. Forest Service. Southern Forest Experiment Station. p. 127-128, 1984.

BUENO, S. C. S. Plantio de mudas. Disponível em:
<http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_produtos/SementesMudas/mudas_plantiomudas.php>
> Acesso em: 19/02/2009.

BURDETT, A. N. Physiological processes in plantation establishment and development of specification for forest planting stock. **Canadian Journal Forest Research** 20: 415-427, 1990.

CAMPINHOS, E.; IKEMORI, Y. K. Introdução de novas técnicas na produção de mudas de essências florestais. **Silvicultura**, v. 8, n. 28, p. 226-228, 1983.

CANTARELLI, E. B.; MACHADO S. L. de O.; COSTA, E. C.; PEZZUTTI, R. Efeito do manejo de plantas daninhas no desenvolvimento inicial de *P. taeda* em várzeas na Argentina. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 711-718, 2006.

CARNEIRO, J. G. A. **Efeito da densidade sobre o desenvolvimento de alguns parâmetros morfofisiológicos de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiros e após o plantio.** Curitiba: UFPR, 1985, 140 p.

CARNEIRO, José Geraldo de Araújo. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais.** Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995, 451 p.

CARNEIRO, J. G. A. Growth of bare root *Pinus taeda* L., seedlings cultivated under five densities in nursery. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Brazil), v. 64, n. 1, p. 23-29, January/February, 2007.

CELSO, B. **Análise comparativa da eficiência entre as espécies florestais *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no seqüestro de CO² em reflorestamento na Região Sul do Brasil.** 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau – FURB, Blumenau, 2006.

COMAS, L. H., EISSENSTAT, D. M. e LAKSO, A. N. Assessing root death and root systems dynamics in a study of grape canopy pruning. **New Phytologist** 147:171–178, 2000.

COSTA, C; DWYER, L. M.; HAMILTON, R. I.; HAMEL, C; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. **Agronomy journal**, v. 92, n. 4, p. 621-627, Jul-Aug, 2000.

COUTTS, M. P. Root architecture and tree stability. **Plant and Soil**, v.71, p.171-188, 1983 a.

COUTTS, M. P.; NIELSEN, C. C. N.; NICOLL, B. C. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. **Plant and Soil** 217: 1-15, 1999.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forest**. Springer 17 p., 2005.

EHRENFELD, J.; KALDOR, E.; PARMELEE, R. W. Vertical distribution of roots along a soil toposequence in the New Jersey Pinelands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 22, p. 1929-1936, 1992.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) – Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Embrapa – Solos). **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1998.

ENNOS, A. R. The scaling of root anchorage. **Journal of Theoretical Biology** 161: 61-75, 1993.

EVERT, F. – Spacing studies: a review. *Information report. FMR-X*, Ottawa, (37): 1-95, dez.1971.

FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*). Global Forest Resources Assessment 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/008/a0400e/a0400e00.htm>. Acesso em 26/02/2009.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ (FIEP), **Catálogo das indústrias no Paraná**. Curitiba, FIEP, 2002, 380 p.

FERRARI, M. P.; SHIMIZU, J. Y. Produção de mudas: CULTIVO DO PINUS. Versão eletrônica. Nov./2005. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/05_producao_de_mudas.htm. Acesso em 29/01/2009.

FERREIRA, A. R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de *Pinus taeda* L.** 220 p., Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FESSEL, V. A. G., **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo do solo**. 88 p. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba 2003.

FOWELLS, H. A. Silvics of forest trees of the United Station. **Agricultural Handbook** 271, Washington, DC: U. S. Department of Agriculture. 271. 762 p., 1965.

FREITAG, A. S. **Frequência de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* em viveiro**. 60 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS. 2007.

FREITAS, A. S. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A.; PENCHEL, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. de A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 853-861, nov./dez. 2005.

FREITAS, A. S. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, jan./mar. 2008.

FUJII, S.; KASUYA, N. Fine root biomass and morphology of *Pinus densiflora* under competitive stress by *Chamaecyparis obtusa*. **Canadian Journal Forest Research** 2008, p. 185-189.

GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist** 147:13–31, 2000.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização n-p-k. **Revista Árvore**, março-abril, ano/vol.27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: SOLO-SUELO, CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos**. Águas de Lindóia: SLCS/ SBCS/ ESALQ-USP/ CEA-ESALQ-USP / SBM , 1996. CD ROM.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000, 427 p.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: Nutrição e fertilização de florestas. Piracicaba, IPEF, p. 221-267, 2000.

GONZALES, R. A.; PEREZ, S. M.; BLANCO, J. J. Estudio sobre el comportamiento en vivero de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* cultivado en envases de polietileno de 12 dimensiones diferentes. **Revista Forestal Baracoa**, Havana, v. 18, n. 1, p. 39-51, 1988.

GRISSOM, J. E. **Growth and physiology of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings as affected by genetics of the root system.** Tese (Doctor of Philosophy) – North Carolina State University, Raleigh, 2003.

GROSSNICKLE, S. C. The importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forest**, 2005.

HAASE, D. L.; ROSE, R. Soil Moisture stress induces transplant shock in store and unstore 2 + 0 Douglas-fir seedlings of varying root volume. **Forest Science**. 39: 275-294, 1993.

HUURI, O. Effect of various treatments at planting and of soft containers on the development of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). p. 101-107 In: PROCEEDINGS OF THE ROOT FORM OF PLANTED TREES. **SYMPOSIUM...** Eds. E. Van Eerden and J. M. Kinghorn. May 16-19, 1978, Victoria, British Columbia Ministry of Forest/Canadian Forestry Service. Joint Report n. 8, 1978.

IPARDES (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL). **Economia Paranaense – Indicadores selecionados, Análise Conjuntural.** Curitiba: 2002, V. 24, n. 1-2, p. 27.

JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F. e SEIFERT, J. R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, 2005.

JANSSENS, I. A.; SAMPSON, D. A.; CURIEL-YUSTE, J.; CARRARA, A.; CEULEMANS, R. The carbon cost of root turnover in a Scots pine forest. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 231-240, 2002.

JOHNSON, F. **Using Chemical to control root growth in container stock: a literature review.** Ontario: 1996, 20 p. Disponível em:
< http://www.mnr.gov.on.ca/MNR_E001821.pdf >. Acesso em: 29/01/20093.

JORGE, L. A. C. Descrição detalhada do método de trincheira com produção de imagens para uso do SIARCS®. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR; METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999, p. 255-268.

JUSTEN, R.; ANTÔNIO, M. G. **A cadeia produtiva do pinus no RS, situação atual, ações e perspectivas.** Associação Gaúcha de Empresas Florestais (AGEFLOR) 09/09/2008. Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/index2.php?p=productMore&iProduct=2878>>. Acesso em: 28/10/2008.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, Santa Maria, nov./dez. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v30n6/a06v30n6.pdf>>. Acesso em 22/01/2009.

KLINGE, H.; HERRERA, R. Biomass studies in Amazon caatinga forest in southern Venezuela. 1. Standing crop of composite root mass in selected stands. **Tropical Ecology** 19:93–109, 1978.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 160 p., 2005.

LACLAU, J. P.; ARNAUD, M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Spatial distribution of *eucalyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**, v. 21, p. 129-136, 2001.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; M'BOU, A. T.; ARNAUD, M.; JOFFRE, R.; RANGER, J. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. **Annals of Botany**, v. 93, p. 249-261, 2004.

LAINÉ, P.; OURRY, A.; SALETTE, J. Effects of a localized supply of nitrate on NO₃ uptake rate and growth of roots in *Lolium multiflorum* Lam. **Plant and Soil**, v. 202, p. 61-67, 1998.

LECOMPTE, F., OZIER-LAFONTAINE, H., PAGÉS, L. "The relationships between static and dynamic variables in the description of root growth. Consequences for field interpretation of rooting variability" **Plant Soil** 236: 19-31, 2001.

LELES, P. S. S.; CARNEIRO, J.G.A.; BARROSO, D.G.; MORGADO, I.F. Qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em blocos prensados e em tubetes. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 13-20, 2000.

LELES, P. S. S.; LISBOA, A. C.; OLIVEIRA NETO, S. N.; GRUGIKI, M. A.; FERREIRA, M. A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2006.

LEMAIRE, F. Physical, chemical, and biological properties of growing medium. **Acta Horticulturae**, n. 396, p. 273-284, 1995.

LIBARDI, P. L.; VAN LIER, Q. de J. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999, p. 47-56.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Publicação do Banco de Desenvolvimento do Paraná, Universidade Estadual do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba, 1968, 350 p.

MACEDO, A. C. **Produção de mudas em viveiros florestais espécies nativas**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Fundação Florestal. 1993. Disponível em:
<http://www.fflorestal.sp.gov.br/publicacao/manual_prod_mudas_viveiros_1ed_1993.pdf>. Acesso em: 26/03/2009.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). Cadeia produtiva de madeira. Brasília: IICA : MAPA/SPA, 2007. 84 p.; 17,5x24 cm – (Agronegócios; v. 6).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995, 889 p.

MARTINS, L. F. da S., POGGIANI, F., OLIVEIRA, R., F. de, GUEDES, M. C., GONÇALVES, J. L. de M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 207-218, 2004.

MATTEI, V. L., Deformações radiculares em plantas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes quando comparadas com plantas originadas por semeadura direta. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 9-21, 1994.

MATTSSON, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forest** 13: 227–252, 1997.

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J. Método da trincheira com contagem manual das raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 1999, p. 275-282.

MELLO, E. J.; MENCK, A. L. M.; ODA, S. Influência do método de produção de mudas na avaliação de progênies de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba, 1993. **Anais...** São Paulo: SBS, 1993, p. 292-294.

MICKOVSKI, S. B.; ENNOS, A. R. A morphological and mechanical study of the root systems of suppressed crows Scots pine *Pinus sylvestris*. **Trees** (2002) 16:274-280, Springer-Verlag, 2002.

MICKOVSKI, S. B.; ENNOS, A. R. The effect of unidirectional stem flexing on shoot and root morphology and architecture in young *Pinus sylvestris* trees. **Canadian Journal Forest Research** 33, 2202–2209, 2003a.

MICKOVSKI, S. B.; ENNOS, A. R. Anchorage and asymmetry in the root system of *Pinus peuce*. **Silva Fennica** 37, 161–173, 2003b.

MILLIKEN, G. A.; JONHSON, D. E. **Analysis of messy data**. London: Champ & Hall, 2000. 605 p.

MORAIS, A.R.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. Comparação de métodos de correção de produções de milho em parcelas experimentais. **Relatório Técnico Anual do CNPMS**: 1980-1984, p. 130-132, 1986.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS**. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NAPIER, I. A.; Técnicas de viveiro para la producción de coníferas en los trópicos. In: SIMPÓSIO FLORESTAS PLANTADAS NOS TRÓPICOS COMO FONTE DE ENERGIA, 1983, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 1985, p. 36-47.

NCAS (NATIONAL CARBON ACCOUNTING SYSTEM). **Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass**. Technical Report n. 31, Australia, 2002.

NELSON, T. C.; ZILLGITT, W. M. **A forest atlas of the south**. Ashville, North Carolina: Southern Forest Experiment Station. 27 p. Technical Report. 1969.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied Linear Statistical Models: Regression, Analysis of Variance, and Experimental Designs**. 3th ed., Homewood, Illinois. 1990.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C. Distribuição de raízes de citros em latossolo roxo. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR; METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999, p. 153-166.

NEVES, C. S. V. J. ; DECHEN, A. R. ; MEDINA, C. C. ; GUIMARÃES, M. F. Comparison of citrus rooting evaluation methods using root images in soil profiles and root weight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2537-2541, 2000.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. de C.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 6, p. 897-905, 2005.

NICOLOSO, F. T.; FORTUNATO, R. P.; ZANCHETTI, F.; CASSOL, L. F. EISINGER, S. M. Recipientes e substratos na produção de mudas de *Maytenus ilicifolia* e *Apluleia leiocarpa*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 987-992, 2000.

NOVAES, A. B. de; CARNEIRO, J. G. de A.; BARROSO, D. G.; LELES, P. S. S. Desempenho de mudas de *Pinus taeda* produzidas em raiz nua e em dois tipos de recipientes, 24 meses após o plantio. **Revista Floresta**, Curitiba, PR. v. 31, 2001.

OLIVEIRA, T. A. **Avaliação de métodos de estimação de parâmetros em modelos de covariância com erro na covariável**. 59 p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras. 2008.

OMAR, D. **Indicadores de qualidade de mudas**. Capítulo III. Dourados, 2005. Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Agronomia, Santa Maria, p. 1-4, 2005.

PAULINO, F. A.; MEDINA, C. de C.; NEVES, C. S. J.; AZEVEDO, M., C. B.; HIGA, A. H.; SIMON, A. Distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 605-610, 2003.

PARVIAINEN, J. V. Qualidade e avaliação da qualidade de mudas florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS. (1:1981: Curitiba). 1º Seminário de Sementes e Viveiros Florestais. Curitiba: **FUPEF**, p. 59-90, 1981.

PARVIAINEN, J. V. The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways. **Folia Forestalia**, Helsinki, v. 593, p. 1-35, 1984.

PARVIAINEN, J. V.; ANTOLA, J. The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock. **Folia Forestalia**, Helsinki, v. 671, p. 1-29, 1986.

POLZL, W. B.; DOS SANTOS, A. J.; TIMOFEICZYK JR, R.; POLZL, P. K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira – segmento da madeira serrada no estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 127-134, 2003.

POTTER, C. S. Terrestrial biomass and the effects of deforestation on the global carbon cycle. **Bioscience** 49:769–778, 1999.

PUHE, J. Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands - a review. **Forest Ecology Management** 175:253-273, 2003.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras : UFLA, 2000. 326 p.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MAESTRI, M.; XAVIER, A. OLIVEIRA, L. M. . Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, v. 13, n. 1, p. 1-18, 1989.

RITCHIE, G. A.; DUNLAP, J. R. Root growth potential: its development and expression on forest tree seedling. *New Zealand Journal Forest Science*, Roturua, v. 10, n. 1, p. 218-248, 1980.

ROBINSON, D. Resource capture by localized root proliferation: Why do plants bother? **Annals of Botany**, v. 77, p. 179-185, 1996.

RUBIRA, J. L. P.; BUENO, L. O. **Cultivo de plantas forestales en contenedor**. Centro de Publicaciones. Madrid, 189 p., 1996.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows**. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997.

SANTOS, D. B. DOS; COELHO, E. F. AZEVEDO, C. A. V. DE. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas freqüências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 327-333, 2005.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem**, Lisboa, Edições Silabo, 2007.

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume do tubetes e tipos de substrato na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.

SANTOS, O. (Editor). **Cultivo sem solo: hidroponia**. 2ª. Reimpressão. Santa Maria: UFSM/CCR, 107 p., 2002.

SANQUETTA, R. C.; MORA, L. A.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos – II *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva – PR, **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 55-61, jan./mar. 2003.

SCHORN, L. A. e FORMENTO, S. **Silvicultura II - Produção de Mudas Florestais**. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2003.

SEITZ, R. A. Poda de árvores urbanas: 1º curso em treinamento sobre poda em espécies arbóreas florestais e de arborização urbana. **IPEF**. Piracicaba, SP. 27 p. 1996. Disponível em:
http://www.ipef.br/publicacoes/curso_arborizacao_urbana/cap07.pdf. Acesso em: 12/02/2009.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus**: espécies. Versão eletrônica. Nov./2005. Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm>. Acesso em: 22/01/2009.

SIMÕES, J. W. Problemática da produção de mudas em essências Florestais. **Série Técnica - IPEF** Piracicaba v. 4, n. 13, p. 1 – 29 Dez. 1987.

SIMÕES, J. W. **Plantio e tratos culturais: métodos, possibilidades e economicidade**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 1989. 20 p.

SIOCUM, G. K.; MAKI, T. E. Some effects of depth of planting upon loblolly pine in the North Carolina Piedmont . **Journal of Forestry**. 54: 21-25, 1956.

SOUZA, D. R. de. **Efeito do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamento de *P. oocarpa* e *P. caribaea* var. *Hondurensis* até os 16 anos**. 80 p. Dissertação (Mestrado) Piracicaba. 1995.

STRUVE, D. K.; JOLY, R. J. Transplant red oak seedlings mediate transplant shock by reducing leaf surface area and altering carbon allocation. **Canadian Journal Forest Research** 22: 1441-1448, 1992.

STURION, J. A. INFLUÊNCIA DO RECIPIENTE E DO MÉTODO DE SEMEADURA NA FORMAÇÃO DE MUDAS DE *Prunus brasiliensis* Schott ex Spreng FASE DE VIVEIRO, **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 1, p. 76-88, dez. 1980.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A.P.M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília : EMBRAPA, 2000. cap. 7, p. 125-150.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2ed. Sunderland: Sinauer Associates, 793 p., 1998.

TIARKS, A.; NAMBIAR, E. K. S.; COSSALTER, C. **Site management and productivity in tropical Forest plantations**. In: CIFOR. Occasional paper n. 16. 13 p. Indonésia, 1998.

TINUS, R. W. Root form: What difference does it make? P. 11-15. In: E. Van Eerden and J.M. Kinghorn (eds) Proceedings of the Root Form of Planted Trees **Symposium...**; May 16-19, 1978; Victoria, British Columbia Ministry of Forest/Canadian Forestry Service. Joint Report n. 8, 1978.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C.; VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 303-377, 1986.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; MOORE, E. E.; SPRUGEL, D. G. Methodological considerations in measuring biomass, production, respiration and nutrient resorption for tree roots in natural ecosystems. In: TORREY, J.G.; WINSHIP, L.J. (Eds.). **Applications of continuous and steady-state methods in root biology**. Dordrecht : Kluwer, p. 217-232, 1989.

VOGT, K., ASBJORNSEN, H.; ERCELAWN, A.; MONTAGNINI, F.; VALDÉS, M. Roots and mycorrhizas in plantation ecosystems. In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A.G. (Eds). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, p. 247-296, 1997.

WEAVER, P. L. A chronology of hurricane induced changes in Puerto Rico's lower montane rain forest. **Interciencia** 27, 252–258, 2002.

WEST, J. B.; ESPELETA, J. F.; DONOVAN, L. A. Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris-Aristida stricta* savanna ecosystem. **Forest Ecology Management**. 189: 397-406, 2004.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria – RS. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 177- 183, 2003.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO MATO GROSSO (ZEE). Referências ambientais e sócio-econômicas para a gestão do território do Estado de Mato Grosso do Sul, v. II, set. 2008. Disponível em:

<<http://www.semec.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=31289>> Acesso em 15/7/09.

ANEXOS

ANEXO 1

RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DE CRESCIMENTO E AS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DO SISTEMA RADICULAR DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE

O resultado da comparação mostrou que os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman para as variáveis morfológicas de crescimento e do sistema radicular estiveram, em geral, bem próximos. Todas as variáveis que apresentaram correlações significativas (valor $p < 0.05$) quando avaliadas pelo coeficiente de correlação de Pearson, também apresentaram pelo coeficiente de correlação de Spearman. Este resultado pode ter sido influenciado pela existência de correlação linear e pelo procedimento de transformação dos dados executados antes da comparação, pois, de acordo Vayego (sem dada), o coeficiente de correlação de Pearson não pode violar a condição de normalidade e a relação linear entre as variáveis. Deste modo, o coeficiente de correlação que melhor representou as características das variáveis morfológicas da árvore, tendo como base os dados não transformados, foi o coeficiente de correlação de Spearman, portanto, levando-se em conta o número de observações, a presença de outliers, a necessidade de transformação de algumas variáveis e principalmente da pouca diferença entre os resultados encontrados, optou-se pela discussão, usando o coeficiente de correlação de Spearman, tendo em vista que, dados com distribuição muito diferente da normal, a medida de correlação de Spearman é mais indicada de acordo com (VAYEGO)

ANEXO 2 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E SPEARMAN

	COEFIC. DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN									
	Alt. mudas	Falhas	Alt. árvore	DAP	Volume	Nota base	Nota frontal	Nota Lateral	Nota pivot.	Número Piv.
Alt. mudas	-	0,061	-0,169	0,027	-0,017	-0,078	-0,010	0,071	-0,082	-0,082
Falhas	0,065	-	-0,269 *	-0,104	-0,143	-0,078	-0,033	-0,006	-0,048	-0,060
Alt. da árv.	-0,038	-0,266 *	-	0,704 *	0,827 *	0,584 *	0,473 *	0,325 *	0,011	0,070
DAP	0,047	-0,100	0,755 *	-	0,974 *	0,651 *	0,530 *	0,338 *	0,119	0,063
Volume	0,024	-0,122	0,827 *	0,972 *	-	0,661 *	0,534 *	0,348 *	0,093	0,053
Nota da base	0,132	-0,068	0,598 *	0,642 *	0,670 *	-	0,682 *	0,495 *	0,057	0,182
Nota frontal	0,141	-0,011	0,492 *	0,503 *	0,534 *	0,657 *	-	0,411 *	0,001	0,111
Nota Lateral	0,171	-0,002	0,357 *	0,329 *	0,341 *	0,523 *	0,428 *	-	-0,092	0,202
Nota pivot.	0,143	-0,060	0,038	0,126	0,077	0,057	-0,031	-0,053	-	-0,130
Número Piv.	-0,158	-0,056	0,118	0,084	0,067	0,172	0,110	0,212	-0,147	-

COEFIC. DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

FONTE: O autor (2009)

NOTAS: 1) Acima da diagonal principal estão as correlações medidas pelo coeficiente de Spearman e abaixo da diagonal principal estão as correlações medidas pelo coeficiente de correlação de Pearson.

2) Os coeficientes de correlação negritados e com asterisco, indicam significância do valor p a 5% de probabilidade.

ANEXO 3 – VALORES P PARA AS MEDIDAS DE CORRELAÇÃO (PEARSON E SPEARMAN)

	P-VALORES PARA OS COEF. DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN									
	Alt. mudas	Falhas	Alt. árvore	DAP	Volume	Nota base	Nota frontal	Nota Lateral	Nota pivot.	Número Piv.
Alt. mudas	-	0.6295	0.1819	0.8328	0.8935	0.907	0.9354	0.5781	0.1506	0.5204
Falhas		-	0.03136	0.4136	0.2588	0.5376	0.7987	0.961	0.7069	0.6362
Alt. da árvore	0.7685	0.03343	-	8.372e-11	2.2e-16	4.022e-07	7.846e-05	0.008718	0.931	0.5849
DAP	0.7136	0.4296	5.727e-13	-	2.2e-16	5.744e-09	6.642e-06	0.00632	0.3501	0.6194
Volume	0.8499	0.335	2.2e-16	2.2e-16	-	2.865e-09	5.387e-06	0.004851	0.4644	0.6752
Nota da base	0.2989	0.5933	1.780e-07	1.076e-08	1.420e-09	-	5.499e-10	3.174e-05	0.6535	0.1503
Nota frontal	0.2647	0.9292	3.676e-05	2.287e-05	5.415e-06	3.717e-09	-	0.0007305	0.9911	0.3818
Nota Lateral	0.1775	0.9872	0.003756	0.007878	0.00588	9.401e-06	0.0004229	-	0.4689	0.1097
Nota pivot.	0.2581	0.6357	0.7679	0.3218	0.5444	0.6544	0.8049	0.6748	-	0.3063
Número Piv.	0.2135	0.6592	0.3543	0.5078	0.5984	0.1744	0.3866	0.0921	0.2473	-

P-VALORES PARA OS COEFIC. DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

FONTE: O autor (2008)

NOTA: Acima da diagonal principal estão os valores p para o coeficiente de correlação de Spearman e abaixo da diagonal principal estão os valores p para o coeficiente de correlações de Pearson.

ANEXO 4

TABELA 1 – RESULTADO DA ANOVA DE ALTURA DE MUDAS DE *P. taeda* – COM AS FONTES DE VARIAÇÃO “EQUIPE DE PLANTADORES” E “INTERAÇÃO”

Fonte de variação	GL	SQ	SQM	Estatística F	Valor P
Blocos	3	1,7904	05968	5,1377	0,001884 **
Método de produção	3	3,3482	1,1161	9,6081	5.56e-06 **
Eq. Plantador	1	0,2739	0,2739	2,3578	0.126120 ns
Método:Plantador	3	0,8566	0,2855	2,4582	0.063825 .
Resíduos	216	25,0904	0,1162		

** 1% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

TABELA 2 – RESULTADOS DA ANOVA PARA ALTURA DAS MUDAS DE *P. taeda* AVALIADAS LOGO APÓS O PLANTIO – SEM AS FONTES DE VARIAÇÃO “EQUIPES DE PLANTADORES” E “INTERAÇÃO”

Fonte de variação	GL	SQ	SQM	Estatística F	Valor P
Blocos	3	1,7904	0,5968	5,0072	0,0022 **
Método de produção de mudas	3	3,3482	1,1161	9,3641	7,503e-06 **
Resíduos	220	26,2209	0,1192		

** 1% de significância

FONTE: O autor (2009)

ANEXO 5

TABELA 3 – RESULTADOS DA ANOVA PARA SOBREVIVÊNCIA DAS PLANTAS DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE EM CAMPO ALEGRE - SC

Fonte de variação	GL	SQ	SQM	Estatística F	Valor P
Blocos	3	1740,8	580,3	5,4401	0,01026 *
Método de produção	3	3464,6	1154,9	10,8272	0,00013 **
Eq. de Plantadores	1	2040,0	2040,0	19,1254	0,00038 **
Método de prod. x Eq. plantadores	3	1461,6	487,2	4,5677	0,01639 *
Resíduos	21	2240,0	106,7		

* 5% de significância ** 1% de significância

FONTE: O autor (2009)

TABELA 4 – RESULTADOS DA ANOVA DE DAP DAS MUDAS DE *P. taeda* - COM A COVARIÁVEL “MORTALIDADE”

Fontes de variação	GL	SQ	SQM	Estatística F	Valor p
Total de falhas	1	2342	2342	1,9193	0,16737 ns
Blocos	3	3454	1151	0,9436	0,42042 ns
Método de produção	3	10470	3490	2,8601	0,03786 *
Plantador	1	769	769	0,6298	0,42829 ns
Método : Plantador	3	3528	1176	0,9637	0,41074 ns
Resíduos	215	262364	1220		

* 5% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

ANEXO 6

TABELA 5 – RESULTADOS DA ANOVA PARA DAP DE PLANTAS DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE EM CAMPO ALEGRE - SC

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Estatística F	Valor p
Blocos	3	2433	811	0,6685	0,57219 ns
Método de produção de mudas	3	13624	4541	3,7436	0,01184 *
Resíduos	220	266871	1213		

* 5% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

TABELA 6 – RESULTADOS DA ANCOVA DE ALTURA DAS PLANTAS DE *P. taeda* – COM AS COVARIÁVEIS “ALTURA DAS MUDAS” E “TOTAL DE FALHAS”

Fontes de variação	GL	SQ	SQm	Estatística F	Valor P
Altura das mudas	1	1,482	1,482	2,6301	0,1063262 ns
Total de falhas	1	7,002	7,002	124262	0,0005177 **
Blocos	3	4,187	1,396	2,4768	0,0623310 ns
Método de produção	3	19,487	6,496	11,5286	4,905e-07 **
Sistema de plantio	1	0,395	0,395	0,7008	0,4034655 ns
Método : Plantio	3	1,693	0,564	1,0013	0,3931630 ns
Residual	214	120,579	0,563		

** 1% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

ANEXO 7

TABELA 7 – RESULTADOS DA ANCOVA DE ALTURA DE PLANTAS DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE EM CAMPO ALEGRE - SC

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Estatística F	Valor P	
Total de falhas	1	740,5	740,4	11,4921	0,0008	**
Blocos	3	538,4	179,5	2,7856	0,0417	*
Método de produção de mudas	3	3166,2	1055,4	16,3812	1,219e-09	**
Resíduos	219	14109,77	64,4			

* 5% de significância ** 1% de significância

FONTE: O autor (2009)

TABELA 8 – RESULTADOS DA ANOVA PARA VOLUME POR PARCELA DE PLANTAS DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE EM CAMPO ALEGRE - SC

Fontes de variação	GL	SQ	SQM	Estatística	Valor P	
Blocos	3	0,0071	0,0024	0,89	0,47	ns
Método de produção de mudas	3	0,0720	0,0240	8,96	0,0005	**
Eq. de plantadores	1	0,0196	0,0196	7,33	0,0132	*
Método de prod. x Eq. de plantadores	3	0,0181	0,0060	2,25	0,1120	ns
Resíduos	210	14309,8	0,0027			

* 5% de significância ** 1% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

TABELA 9 – RESULTADOS DA ANOVA DE PESO DE RAÍZES FINAS DE PLANTAS DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE EM CAMPO ALEGRE – SC

Fontes de variação	Significância
Blocos	ns
Método de produção de mudas	ns
Eq. de plantadores	ns
Método de prod. x Eq. plantadores	ns

ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

ANEXO 8

TABELA 10 – RESULTADOS DA ANOVA PARA NOTAS ATRIBUIDAS AO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE *P. taeda*, AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE – VISTA DA BASE

Fontes de variação	Significância
Método de produção de mudas	ns
Equipe de plantadores	ns
Método de prod. X Eq. de plantadores	ns
Resíduos	
ns – não significativo	

FONTE: O autor (2009)

TABELA 11 – RESULTADOS DA ANOVA PARA NOTAS ATRIBUIDAS AO SISTEMA RADICULAR DE *P. taeda*, AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE – VISTA FRONTAL

Fontes de variação	GL	SQ	SQM	Estatística F	Valor P
Método de produção de mudas	3	285,94	95,31	2,1022	0,11023 ns
Eq. de plantadores	1	284,32	284,3	6,2708	0,01521 *
Método de prod. x Eq. de plantadores	3	336,90	112,3	2,4768	0,07068 ns
Resíduos	56	2539,08	45,34		

* 5% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

TABELA 12 – RESULTADO DA ANOVA PARA AS NOTAS ATRIBUIDAS AO SISTEMA RADICULAR DE *P. taeda* AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE – VISTA LATERAL

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Estatística F	Valor P
Método de produção de mudas	3	130,76	43,59	0,8492	0,47286 ns
Eq. de plantadores	1	235,76	235,76	4,5935	0,03645 *
Método de prod. x Eq. de plantadores	3	555,63	185,21	3,6087	0,01870 *
Resíduos	56	2874,13	51,32		

* 5% de significância ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)

ANEXO 9TABELA 13 – RESULTADO DA ANOVA PARA NOTAS ATRIBUIDAS AO SISTEMA RADICULAR DE *P. taeda*, AVALIADAS AOS 46 MESES DE IDADE – RAIZ PIVOTANTE

Fontes de variação	Significância
Método de produção de mudas	ns
Eq. de plantadores	ns
Método de prod x Eq. de plantadores	ns

ns – não significativo

FONTE: O autor (2009)