



REGIS PEREIRA VENTURIN

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM
CLONE DE *EUCALYPTUS* sp. SOB DIFERENTES
ARRANJOS DE PLANTIO EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL**

LAVRAS - MG

2012

REGIS PEREIRA VENTURIN

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM CLONE DE
EUCALYPTUS sp. SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO EM
SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL**

Tese apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Renato Luiz Grisi Macedo

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Venturin, Regis Pereira.

Análise técnica e econômica de um clone de Eucalyptus sob diferentes arranjos estruturais em Sistema Agrossilvipastoril / Regis Pereira Venturin. – Lavras : UFLA, 2012.

119 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Renato Luiz Grisi Macedo.

Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Consorciação. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 634.97342

REGIS PEREIRA VENTURIN

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM CLONE DE
EUCALYPTUS SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO EM
SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL**

Tese apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012.

Dr. Lucas Resende Gomide	UFLA
Dr. José Luis Pereira Rezende	UFLA
Dr. Rodrigo Luz da Cunha	EPAMIG
Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato	EPAMIG

Dr. Renato Luiz Grisi Macedo
Orientador

LAVRAS - MG
2012

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal de Lavras por toda a minha formação e ao departamento de Ciências Florestais pelo acolhimento e possibilidade de realização deste curso.

À EPAMIG pela oportunidade proporcionada e a FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa Votorantim Siderurgia, em especial na pessoa do Dr. Raul César Nogueira Melido, pela disponibilização da área de estudos e apoio imprescindível na realização deste trabalho.

Ao professor Renato Luiz Grisi Macedo pela amizade, entusiasmo, estímulo e orientação.

Aos professores do departamento de Ciências Florestais Lucas e José Luis pelas contribuições que viabilizaram este trabalho.

À família, especialmente aos meus pais Lêda e Nelson e a Marcela e Martin pela constante presença.

À Rossana pelo carinho, apoio e compreensão nas horas difíceis e pela constante companhia na minha vida.

Aos colegas Leandro e Kamila, sempre dispostos para as viagens de campo.

Aos colegas da EPAMIG e amigos pelo apoio constante durante todo o curso.

RESUMO

Por associarem mais áreas do conhecimento que as explorações tradicionais, os sistemas agrossilvipastoris necessitam de informações específicas a respeito do comportamento dos diversos componentes, além de maior tempo de rotação no caso de produção de madeira destinada para serraria. Buscou-se neste estudo avaliar o comportamento do eucalipto em um ciclo longo sob diversos arranjos de plantio, com o objetivo de detalhar a dinâmica de crescimento das plantas, avaliar a produção total e sortimento de madeira, além do resultado econômico dos arranjos de plantio. Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados em esquema de parcela subdividida com os arranjos em linhas simples 3,33x2m, 3,33x3m, 5x2m, 10x2m, 10x3m, 10x4m; arranjos em linhas duplas (3x3)+7m, (3x3)+10m, (3x4)+10m, (3x3)+15m e um arranjo combinado com linhas simples e duplas (3x4)+7+10m localizados nas parcelas e seis idades de avaliação (51, 64, 77, 88, 103 e 122 meses). Aos 144 meses de idade as plantas foram cubadas e ajustada uma equação de afileamento para o cálculo dos sortimentos em cada tratamento. Os produtos obtidos foram precificados e determinados os resultados econômicos dos tratamentos. Os arranjos de plantio influenciaram os parâmetros silviculturais diâmetro à altura do peito, altura de plantas e conseqüentemente, todas as relações entre estas. Os maiores diâmetros foram obtidos nos arranjos 10x4 e (3x4)+7+10; os quais também resultaram nos melhores retornos econômicos dos sistemas agrossilvipastoris, com produção de 67,12 e 62,2 m³ de madeira (43,76 e 37,56 % do total produzido) com diâmetro mínimo de 20 cm. As linhas duplas de plantio aumentaram a competição entre plantas nas mesmas densidades de plantio, produzindo madeira de diâmetro intermediário (20,13 a 22,65 cm de DAP). A comparação dos resultados econômicos (VPL_∞) entre os sistemas tradicionais e agrossilvipastoris mostrou que os melhores retornos foram proporcionados pelos arranjos (3x4)+7+10; 3x2; 10x4 e 3x3 metros respectivamente. O melhor arranjo de plantio para a produção de madeira visando múltiplos produtos foi o arranjo combinado de linhas duplas e simples (3x4)+7+10 metros.

Palavras-chave: Sistema de Produção. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Consorciação. Espaçamento. Múltiplos produtos da Madeira.

ABSTRACT

For associating more areas of knowledge than traditional exploitations, the agrosilvipastoral systems need specific information about the behavior of the several components, in addition to longer rotation time in the case of wood production intended for saw-mill. Evaluating the behavior of the eucalyptus in a long cycle under a number of planting arrangements with the purpose of detailing the growth dynamics of the plants, evaluating total yield and wood assortment, besides the economic result of the planting arrangements were sought in this study. A randomized block design in a split plot scheme with the arrangements in simple rows of 3.33x2m, 3.33x3m, 5x2m, 10x2m, 10x3m, 10x4m; double row arrangements (3x3)+7m, (3x3)+10m, (3x4)+10m, (3x3)+15m and a combined arrangement with two single and double rows (3x4)+7+10m localized in the plots and six evaluation ages (51, 64, 77, 88, 103 and 122 months). At 144 months of age, the plants were scaled and a tapering equation adjusted for calculation of the assortments in each treatment. The products obtained were precified and determined the economic results of the treatments. The planting arrangements influenced the silvicultural parameters breast height diameter, plant height and consequently, all the relationships among these. The largest diameters were obtained in the 10x4 and (3x4)+7+10 arrangements; which also resulted into the best economic returns of the agrosilvipastoral systems, with yield of 67.12 and 62.2 m³ of wood (43.76 and 37.56 % of the total produced) with minimum diameter of 20 cm. The double rows of planting increased competition among plants at the same planting densities and produce wood of intermediary diameter (20.13 to 22.65 cm of BHD). The comparison of the economic results (VPL_∞) among the traditional and agrosilvipastoral systems showed that the best returns were provided by the (3x4)+7+10; 3x2; 10x4 and 3x3 meter arrangements, respectively. The best planting arrangement for wood production aiming at multiple products was the combined arrangement of double and single rows (3x4) +7+10 meters.

Keywords: Production System. Crop-Livestock-Forest Integration. Intercropping. Spacing. Wood Multiproducts.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Representação gráfica do crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) médio, em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância).....	59
Gráfico 2	Representação gráfica do crescimento, em altura média, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância).....	63
Gráfico 3	Representação gráfica do crescimento em altura dominante (Hd), em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)	66
Gráfico 4	Representação gráfica da área basal do povoamento, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância) 68	
Gráfico 5	Representação gráfica da produção de madeira com casca, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância).....	70
Gráfico 6	Representação gráfica do incremento médio e corrente anual de madeira com casca, em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (Letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância).....	73
Gráfico 7	Representação gráfica do incremento médio e corrente anual em diâmetro à altura do peito (DAP), em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância).....	75
Gráfico 8	Representação gráfica do número de plantas por hectare e respectiva distribuição diamétrica, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade.....	77
Gráfico 9	Representação gráfica do desenvolvimento diamétrico das plantas, em função dos tratamentos.....	82
Gráfico 10	Representação gráfica do desenvolvimento em volume do povoamento, em função dos tratamentos	83
Gráfico 11	Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual para volume de madeira nos	

	espaçamentos de plantio 10x4, 10x3, 3x3+15, 3x4+7+10, 3x4+10 e 10x2 m.....	84
Gráfico 12	Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual para volume de madeira nos espaçamentos de plantio 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3,3x3 e 3,3x2 m.....	85
Gráfico 13	Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual, para diâmetro à altura do peito, nos espaçamentos de plantio 10x4, 10x3, 3x3+15, 3x4+7+10, 3x4+10 e 10x2 m.....	88
Gráfico 14	Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual, para diâmetro à altura do peito, nos espaçamentos de plantio 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3,3x3 e 3,3x2 m.....	89

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Modelos esquemáticos dos arranjos estruturais de plantio de eucalipto. I Arranjos simples, II arranjos duplos e III arranjo combinado	43
Figura 2	Vista geral do sistema agrossilvipastoril na fase de exploração silvipastoril	43
Figura 3	Aspecto de crescimento nos arranjos em linhas duplas, aos 144 meses após o plantio	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição dos tratamentos quanto ao número de árvores e linhas da parcela útil, área útil por planta e número de árvores por hectare, para diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com <i>Eucalyptus</i> sp., em Paracatu, MG 44
Tabela 2	Análise de variância para o teste de identidade dos modelos de afilamento entre os tratamentos 51
Tabela 3	Quadrados médios e coeficientes de variação das análises de variância realizadas nos dados de diâmetro à altura do peito (DAP), altura média (H), volume de madeira com casca (V ind. e Vha), área basal (G ha), incremento médio e corrente anual em volume (IMA e ICA), em função de diferentes arranjos de plantio, em seis épocas de avaliação 57
Tabela 4	Diâmetro médio à altura do peito das plantas (DAP) de eucalipto, em função dos tratamentos e das idades 58
Tabela 5	Diâmetro dominante à altura do peito das plantas de eucalipto, em função dos tratamentos e das idades 61
Tabela 6	Valores médios de altura de plantas de eucalipto, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades 62
Tabela 7	Valores médios de altura dominante de plantas de eucalipto em função dos diferentes arranjos estruturais e idades 65
Tabela 8	Valores médios de área basal de plantas de eucalipto, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades 67
Tabela 9	Valores médios de volume de madeira de eucalipto com casca, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades 69
Tabela 10	Valores de incremento médio anual (IMAVol) e incremento corrente anual de volume de madeira (ICA Vol); incremento médio anual (IMA Dap), incremento corrente anual em diâmetro à altura do peito (ICA Dap) e incremento médio anual (IMA G) e incremento corrente anual (ICA G) da área basal por área, em função de diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses 72
Tabela 11	DAP médio, desvio padrão e número de indivíduos por hectare nas classes diamétricas, em função dos arranjos de plantio 3x3+15, 3x4+10, 10x2, 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3x3 e 3x2, na idade de 122 meses 78
Tabela 12	DAP médio, desvio padrão e número de indivíduos por hectare nas classes diamétricas, em função dos arranjos de plantio 10 x4, 10x3, 3x4+7+10, na idade de 122 meses 78

Tabela 13	Equações ajustadas para os parâmetros de crescimento em diâmetro (DAP) e volume de madeira com casca por área (Vha), em função dos espaçamentos no tempo	81
Tabela 14	Idade de máximo incremento e curvas de incremento médio anual (IMA), em volume do povoamento, em função dos tratamentos	86
Tabela 15	Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação do polinômio do quinto grau para cada tratamento e para o modelo reduzido.....	90
Tabela 16	Resultado do teste de identidade das equações para todos os tratamentos, aos 122 meses de plantio	91
Tabela 17	Resumo da análise de variância do volume de tora, toretes, postes e madeira fina, em função de diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses.....	91
Tabela 18	Volume de produtos madeireiros obtidos por hectare de eucalipto, conforme arranjo estrutural de plantio, aos 122 meses após o plantio	92
Tabela 19	Valor dos produtos agropecuários e produtividades utilizadas na composição das receitas, em cada arranjo de plantio.....	95
Tabela 20	Discriminação dos valores totais gastos na implantação e na condução em cada arranjo de plantio de eucalipto, por ciclo de 11 anos, em reais (R\$) por hectare.....	96
Tabela 21	Discriminação das receitas obtidas em cada arranjo de plantio de eucalipto, por ciclo de 11 anos, em reais (R\$) por hectare	97
Tabela 22	Valores de produtos madeireiros obtidos por hectare de eucalipto, conforme arranjo estrutural de implantação, aos 122 meses após o plantio	99
Tabela 23	Fluxo de caixa anual para os arranjos de plantio de eucalipto, com receita final oriunda de produtos múltiplos de madeira	100
Tabela 24	Valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), em função dos tratamentos.....	102
Tabela 25	Valor da venda de madeira obtido de uma simulação da exploração tradicional com três cortes rasos do arranjo de plantio 3,33x3 e 3x2 metros	104
Tabela 26	Fluxo de caixa dos arranjos de plantio tradicionais, em um ciclo de 21 anos	105
Tabela 27	Resumo dos valores totais gastos na implantação e na condução dos arranjos tradicionais de plantio de eucalipto por ciclo de 21 anos, em reais (R\$) por hectare.....	107
Tabela 28	Valor presente líquido infinito (VPL ∞) e tempo de exploração considerado em função dos tratamentos agrossilvipastoris explorados em 11 anos e uma simulação da exploração tradicional com três cortes rasos em 21 anos	108

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	O desenvolvimento do agronegócio	18
3.2	Sistemas agroflorestais	22
3.2.1	Sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris	23
3.3	Espaçamento de plantio para eucalipto	26
3.4	Manejo florestal de eucalipto para múltiplos produtos	32
3.4.1	Desbastes	34
3.4.2	Desrama	36
3.5	Parâmetros econômicos em sistemas agroflorestais	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Local e caracterização da área de estudo	40
4.2	Implantação e condução do experimento	40
4.3	Delineamento experimental	42
4.4	Avaliações	45
4.4.1	Diâmetro à altura do peito (DAP)	45
4.4.2	Diâmetro dominante (DAPd)	46
4.4.3	Altura de plantas (H)	46
4.4.4	Altura de plantas dominante (Hd)	46
4.4.5	Área seccional (g) e área basal por hectare (G)	46
4.4.6	Volume individual (V.ind) e volume por hectare (V.ha)	47
4.4.7	Incremento médio anual de madeira com casca (IMA)	48
4.4.8	Incremento corrente anual de madeira com casca (ICA)	48
4.4.9	Caracterização da distribuição diamétrica	49
4.5	Dinâmica de crescimento	49
4.6	Cubagem das árvores	50
4.6.1	Função de afilamento e determinação de sortimentos	50
4.7	Análise econômica	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1	Características de crescimento	58
5.1.1	Diâmetro à altura do peito (DAP)	58
5.1.2	Diâmetro dominante	60
5.1.3	Altura de plantas	61
5.1.4	Altura dominante de plantas	64
5.1.5	Área basal	67
5.1.6	Volume de madeira	69

5.1.7	Incremento médio anual e corrente anual, em volume de madeira	72
5.1.8	Incremento médio anual e corrente anual em DAP	74
5.2	Caracterização da distribuição diamétrica.....	76
5.3	Dinâmica de crescimento.....	80
5.3.1	Idade de máximo incremento médio em volume de madeira.....	83
5.4	Determinação do sortimento de madeira, aos 122 meses após o plantio.....	89
5.5	Análise econômica.....	94
6	CONCLUSÕES	110
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados do último Censo Agropecuário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2006), o Brasil tem cerca de 388 milhões de hectares de áreas agricultáveis, dos quais 70 milhões são ocupados pela agricultura, 6 milhões por florestas plantadas e 158 milhões por pastagens. Projeções do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2010) mostram que o país deverá aumentar sua produção de carne, grãos, celulose e papel em, aproximadamente, 37% sobre a produção de 2008 até o ano de 2020 e deverá ter crescimento ainda maior em outros setores, como o da bioenergia.

Para atender a esta demanda, a incorporação de novas áreas de vegetação primária ao processo produtivo deixou de ser aceita pela sociedade, restando como alternativa a intensificação das áreas já antropizadas para novos aumentos de produção.

Dos setores do agronegócio brasileiro, é a pecuária bovina, cuja principal forma de exploração no Brasil é por meio do uso de pastagens, que ocupa a maior parte das áreas disponíveis. Estas áreas, comumente submetidas a um manejo inadequado, têm altas taxas de degradação, acarretando sérios prejuízos econômicos e ambientais que comprometem a sustentabilidade dessa atividade. Os prejuízos ambientais, que incluem a degradação dos cursos d'água e do solo, bem como a perda da biodiversidade vegetal e animal, são impactos muito sérios que geram crescente preocupação em diversos setores da sociedade, mostrando-se como um viés negativo para o setor agropecuário brasileiro. Dessa forma, o crescimento agrícola e florestal, em andamento, deve continuar sobre áreas anteriormente ocupadas por pastagens, juntamente com a intensificação de uso destas próprias.

Entre as diversas formas de intensificação de uso das terras agrícolas, a implantação de sistemas agrossilvipastoris é apontada como uma das opções

promissoras para a intensificação de uso das pastagens degradadas ou diversificação das atividades econômicas, ainda com promoção de melhorias ambientais e que incorporem áreas já alteradas ao processo produtivo (DIAS FILHO, 2007).

A recomposição do componente florestal na paisagem, aliando aumento da ciclagem de nutrientes e proteção do solo contra a erosão, além de conforto térmico aos animais e diversificação da renda, é um fator que diferencia e enaltece este tipo de exploração. Além dos aspectos citados, pode-se apontar também a proteção indireta às florestas nativas pela diminuição da pressão sobre os remanescentes florestais, por meio do aumento de oferta de madeira plantada.

Outro ponto favorável aos sistemas agrossilvipastoris é que sua adoção como modelo de produção não representa uma ruptura brusca na cultura local, seja ela agrícola, florestal ou pecuária (GUERRA, 2010). Assim propiciam a oportunidade de adoção de uma nova atividade ou um início gradual para migração entre atividades.

Quanto aos entraves encontrados para a adoção de sistemas agrossilvipastoris, pode-se citar necessidade de maior investimento requerido, que leva a uma menor taxa de retorno inicial. É interessante lembrar que, após o investimento inicial, os sistemas agrossilvipastoris têm um fluxo de caixa mais equilibrado que o dos sistemas tradicionais de produção florestal, o que possibilita o acesso à atividade florestal por pequenos e médios produtores rurais. Na produção de madeira para serraria, que exige um período longo, essa característica é fundamental para a viabilidade do negócio nesta parcela de produtores.

Outro entrave importante é a condução de múltiplas atividades, bem como do manejo florestal desses povoamentos, que exigem um acompanhamento mais refinado da assistência técnica, nem sempre disponível na condução das atividades e que, muitas vezes, ainda necessitam de mais

informações, por associarem mais áreas do conhecimento que as explorações tradicionalmente executadas.

Desse modo, informações sobre interações entre os componentes do sistema e respostas das plantas a diferentes condições de condução ainda são escassas. Mesmo espécies já muito pesquisadas, como o eucalipto, têm deficiências nesse sentido. Normalmente, os trabalhos de condução dos povoamentos desta espécie visam à produção de madeira para energia ou celulose, que muito diferem quanto ao período de rotação, à condução ou ao espaçamento de plantio usado nos sistemas agrossilvipastoris.

Nos plantios de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris, vislumbra-se a utilização da madeira para múltiplos usos, com cada porção do tronco direcionada para a utilização mais nobre que lhe couber, como madeira para serraria, que exige um diâmetro de tora maior e de melhor qualidade, só atingida com rotações mais longas.

Para atingir esse tipo de produto, geralmente são utilizados espaçamentos maiores, com ciclo florestal mais longo, havendo pouca informação sobre o comportamento das árvores nestas condições de exploração. Assim, com o presente trabalho, busca-se preencher esta lacuna de conhecimento a despeito do comportamento do eucalipto em espaçamentos amplos dentro de uma exploração que congrega cultivos agrícolas, pastagens e criação de bovinos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a dinâmica de crescimento, produção total, o sortimento de madeira de eucalipto produzido e o resultado econômico dos arranjos de plantio em um sistema agrossilvipastoril.

2.2 Objetivos específicos

- a) avaliar o comportamento das variáveis dendrométricas do sistema agrossilvipastoril ao longo do tempo;
- b) determinar os melhores arranjos de plantio para a produção de madeira visando o múltiplo aproveitamento;
- c) verificar o impacto dos tratamentos sobre o sortimento de produtos para múltiplos usos da madeira de eucalipto;
- d) avaliar a competição entre as árvores do povoamento ao longo do tempo;
- e) avaliar o resultado e a viabilidade econômica dos tratamentos aplicados ao eucalipto em um sistema agrossilvipastoril.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O desenvolvimento do agronegócio

Consequência de um desenvolvimento lento e gradativo, o agronegócio brasileiro é responsável por cerca de 30% do Produto Interno Bruto (PIB) e 40% das exportações nacionais, ocupando, diretamente, cerca de 16 milhões de pessoas apenas no setor agrícola (LOURENZANI; LOURENZANI, 2006; RUAS et al., 2008). Estes números revelam a vocação natural do país em função da grande diversidade de climas e de uma área agricultável de 388 milhões de hectares, nos quais 90 milhões de hectares são ainda inexplorados (RUAS et al., 2008).

Com início na segunda metade da década de 1960 e, principalmente, na década de 1970, o desenvolvimento rural brasileiro começou a partir de grandes esforços, em políticas baseadas na geração de ciência para o desenvolvimento da agricultura no ambiente tropical. A incorporação de tecnologias viabilizadas pelo crédito agrícola levou a um grande desenvolvimento na produção agrícola nacional. Nesse período, observou-se a expansão da fronteira agrícola para o centro-norte do país, onde as novas tecnologias desenvolvidas propiciaram o desenvolvimento da agricultura nessas regiões (ROMANO, 2010).

Na década de 1980, a política de preços mínimos provocou considerável expansão e diversificação das exportações agrícolas. A produção de grãos e de oleaginosas passou de 58,1 milhões de toneladas, em 1985 e para 71,5 milhões de toneladas, em 1989, com valores de 5,0 bilhões de dólares, em 1975 e 10,1 bilhões de dólares, em 1985. No entanto, a acumulação de grandes estoques governamentais de produtos agrícolas, juntamente com os efeitos da Constituição de 1988 sobre a capacidade do governo federal de intervir diretamente em setores da economia, tornou-s insustentável na década de 1990

(MUELLER; MUELLER, 2006). A partir daí, houve uma profunda liberalização do setor, por meio de uma grande abertura econômica do país como um todo.

A partir da década de 1990, especificamente no período de 1994 a 1999, a forte valorização do real afetou negativamente as exportações agrícolas, gerando, ainda, aumento das importações. Ainda assim, entre 1991 e 1998, a taxa anual de crescimento real do PIB agrícola foi, em média, de 2,4%, próximo à taxa de crescimento do PIB para o conjunto da economia, que foi de 2,8% ao ano. Entre 1991 e 1998, o volume exportado aumentou moderadamente, de 57,9 milhões de toneladas para 76,6 milhões de toneladas, ou seja, aumentou 32,3% naqueles sete anos. Entre 1999 e 2004, a taxa de crescimento agrícola anual alcançou a média de 5,4% ao ano. Neste período, o crescimento real médio do PIB do país foi de apenas 1,8%. A produção de grãos teve novo incremento, alcançando 123,2 milhões de toneladas, em 2003, um aumento de 55,4% no período de 6 anos (MUELLER e MUELLER, 2006; PESSOA, 2006).

De acordo com estes mesmos autores, toda essa expansão na produção foi obtida com um acréscimo relativamente pequeno nas áreas de cultivo. A área de grãos e oleaginosas cresceu apenas 25,1%, entre 1991 e 2005, passando de 37,9 para 47,4 milhões de hectares, ou seja, a maior parte do aumento foi devido aos ganhos de produtividade.

Para Martha Júnior et al. (2010), esse desenvolvimento tecnológico obtido no período, aliado à abertura econômica ocorrida em meados de 1990, impactou a relação entre oferta e demanda, com o aumento da disponibilidade de alimentos, levando a uma queda dos preços ao consumidor. Observou-se, então, um processo de transferência de renda dos produtores para os consumidores, que passaram a utilizar uma menor parcela da renda no consumo de alimentos. Outro aspecto observado é que, com os gastos menores com a alimentação, uma parcela maior da renda dos consumidores foi destinada a bens de consumo não alimentícios, que aquecem outros setores da economia. Segundo os mesmos

autores, em abril de 2010, o preço da cesta básica, na cidade de São Paulo, SP, equivalia a 53% do valor corrigido registrado em janeiro de 1975, ou seja, o custo da alimentação caiu pela metade no período.

De acordo com Mueller e Mueller (2006), além do favorecimento ao mercado interno, a expansão agrícola, nos últimos 15 anos, teve grandes impactos nas contas externas brasileiras. O valor das exportações do agronegócio aumentou de 21,2 bilhões dólares, em 1997, para 43,6 bilhões dólares, em 2005, contribuindo com US\$38,4 bilhões do saldo comercial de US\$44,8 bilhões. No ano de 2009, o volume exportado pelo agronegócio foi de US\$64,76 bilhões, representando 42,5% das exportações totais (MARTHA JÚNIOR et al., 2010). Segundo dados apresentados pelos mesmos autores, as maiores participações nas exportações foram as do complexo soja (26,6%), das carnes (18,2%), do complexo sucroalcooleiro (15,0%), dos produtos florestais (11,2%) e do café (6,6%).

Após os efeitos da crise mundial de 2008, o Índice de Preços dos Alimentos da FAO voltou a atingir seu nível mais alto no final de 2010 e, de acordo com os dados apresentados pela Organization for Economic Co-operation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations (OCDE; FAO, 2010), nos próximos anos, a volatilidade e os preços continuarão altos, se não forem alteradas as causas estruturais do desequilíbrio do sistema agrícola internacional. Segundo estes estudos, até o ano de 2050, será necessário aumentar em 70% a produção agrícola mundial e em 100% nos países em desenvolvimento (MATOS et al., 2008).

Fatores como o preço do petróleo, hoje diretamente atrelado à agricultura, via biocombustíveis e insumos, a volatilidade do mercado de commodities e os baixos investimentos governamentais podem agravar ainda mais o problema da insegurança alimentar, que atinge, principalmente, as

populações pobres do mundo e pode levar a um quadro de instabilidade política em diversos países (OCDE; FAO, 2010).

Diante dos dados recém-apresentados pela OCDE e FAO (2010) (Perspectivas para a Agricultura), alguns analistas afirmam que o Brasil deverá liderar a produção agrícola na próxima década e se firmará como o grande fornecedor de alimentos para o mundo. Entretanto, os desafios atuais do agronegócio brasileiro são questões a serem definidas, como o financiamento da produção agrícola, seja com aporte governamental de recursos ou a captação destes no mercado financeiro, a questão de distribuição e de posse de terras, ainda bastante desigual no país e a questão ambiental. Esta, por sua vez, coloca limites para a expansão da área plantada, especialmente em determinados biomas, como o amazônico, onde hoje existe certo bloqueio à ocupação. Se, por um lado, a limitação de expansão é negativa, por outro, pode induzir, como resposta, o aumento de produtividade das áreas já utilizadas, o que pode significar, a médio prazo, benefício para a economia (NAVARRO, 2010).

Este mesmo autor, citando Mello et al. (2005), estima que, no Brasil, apesar da relativa disponibilidade de áreas cultiváveis, a expansão agrícola deve se dar ainda em cima de ganhos de produtividade e substituição de áreas de pastagens degradadas por culturas agrícolas, cana-de-açúcar e florestas plantadas. Segundo os autores, cerca de 30 milhões de hectares de pastagem deverão ser substituídos por essas culturas, no período de 10 anos.

Neste cenário, os sistemas de produção que elevem o potencial produtivo de áreas já antropizadas devem ser desenvolvidos para a conciliação da necessidade de suprimento da demanda por alimentos e matérias-primas e o anseio da população pela conservação ambiental e a produção sustentável de alimentos.

3.2 Sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso racional e manejo dos recursos naturais que integram consorciações de árvores e culturas agrícolas e/ou animais de forma planejada, ecologicamente desejável, praticamente factível e socialmente aceitável pelo produtor rural, de modo que este obtenha os benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes. São consorciações que baseiam em princípios de sustentabilidade, que envolvem aspectos ambientais, econômicos e sociais (MACEDO; VENTURIN; TSUKAMOTO FILHO, 2000).

Hoje, aspectos relativos à sustentabilidade ambiental e social têm assumido cada vez maior importância e devem ter a mesma relevância de parâmetros como a produtividade e a eficiência econômica, o que sinaliza para mudanças na forma de uso dos diferentes sistemas de utilização da terra. Assim, aspectos econômicos, sociais e ambientais, intrínsecos aos sistemas agroflorestais, os tornam uma alternativa importante e atrativa de uso da terra, e de inegável vocação para a sustentabilidade. Apesar de serem utilizados há muito tempo em várias partes do mundo, só recentemente os SAFs passaram a ser tratados como um tema de pesquisa científica (MACEDO et al., 2000).

Os sistemas agroflorestais podem ser formados de diversas maneiras. Árvores remanescentes de um desflorestamento ou provenientes de regeneração natural podem compor um sistema agroflorestal com determinada cultura ou pastagem, da mesma forma que aqueles sistematizados e conduzidos para uma determinada finalidade.

Para Macedo, Vale e Venturin (2010), os arranjos entre as espécies podem ser instalados e manejados de maneira simultânea ou sequencial no tempo e no espaço e apresentar caráter temporário ou permanente, como, por

exemplo, um campo em que o plantio de culturas anuais é alternado com uma vegetação arbórea (capoeira) para recuperar a fertilidade do solo.

Entende-se por sistema agroflorestal arranjos entre duas ou mais espécies em que pelo menos uma delas é lenhosa e perene. Nos sistemas agroflorestais não necessariamente existe uma planta herbácea, entretanto, nos sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris sempre existirá uma espécie herbácea ou arbustiva forrageira, nas nossas condições quase sempre uma gramínea, utilizada para pastejo (VENTURIN et al., 2010).

Os sistemas agroflorestais são classificados como silviagrícolas, silvipastoris ou agrossilvipastoris (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010), hoje também bastante difundido como sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Nos sistemas silviagrícolas, árvores ou arbustos convivem com culturas anuais ou perenes, para a produção simultânea de culturas florestais e agrícolas. Nos sistemas silvipastoris, há a coexistência de árvores ou arbustos com animais e espécies forrageiras para serem consumidas por animais domésticos. Já nos sistemas agrossilvipastoris, as árvores e os arbustos coexistem com cultivos agrícolas, animais ou pastagem, espaçados no tempo, de forma simultânea ou sequencial.

3.2.1 Sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris

Os sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris constituem modalidades de exploração da terra oriunda dos sistemas agroflorestais, cuja essência está na convivência de diferentes espécies vegetais que utilizam diferentes extratos aéreos e de solo, com a presença de animais em uma mesma área. Porfírio da Silva (2009) define o termo “sistema silvipastoril” como resumo de um conjunto de conhecimentos e práticas envolvidas na integração de árvores com pastagens na mesma área, por meio da conservação de árvores previamente existentes, pelo

plantio ou pela condução de árvores que emergem espontaneamente em meio à pastagem.

Garcia e Andrade (2001) classificam os sistemas silvipastoris em sistemas verdadeiros e eventuais, de acordo com a natureza da exploração e seu objetivo final. Os sistemas eventuais são aqueles em que a associação árvore-pasto-animal ocorre em determinado momento de um ciclo silvicultural. Assim, aqueles plantios de espécies arbóreas tradicionais em que os animais são inseridos para o aproveitamento de gramíneas e leguminosas rasteiras, manejados de forma leniente, enquanto o desenvolvimento do componente arbóreo permite a presença de forragem, é um exemplo de sistema silvipastoril eventual. Neste caso, a pastagem e os animais são subprodutos da exploração florestal, considerada de interesse principal.

No caso dos sistemas silvipastoris verdadeiros, as árvores, os animais e as pastagens são considerados integrantes do sistema desde o início do planejamento. São plantios realizados em espaçamentos adequados para a coexistência de todos os componentes e que, preferencialmente, haja efeito de complementaridade. Assim, espécies arbóreas leguminosas fixando nitrogênio atmosférico podem beneficiar as gramíneas de uma pastagem, mesmo que por outro lado exista uma competição por luz entre as espécies. No caso dos animais, estes podem se beneficiar com a melhoria da condição ambiental proporcionada pela sombra das árvores (GARCIA; ANDRADE, 2001).

Para Porfirio da Silva (2007), a complementaridade entre os componentes no sistema agrossilvopastoril gera um uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Assim, financeiramente, o componente não arbóreo continua gerando receita no curto prazo, ao contrário do plantio florestal exclusivo que, no entanto, proporciona um rendimento acumulativo, que não ocorre nos sistemas agrícolas e de pastagem.

Dentre muitos aspectos em que os sistemas agrossilvipastoris se sobressaem, Porfírio da Silva (2007) destacou a diversificação das atividades, o acúmulo de capital pelas árvores, o efeito proteção contra erosão e ventos e a recuperação de nutrientes lixiviados como vantagens, quando vistos sob a perspectiva da lavoura (agricultura ou pastagem). Pela perspectiva da produção florestal, o autor cita a proteção contra incêndios e a possibilidade de produção de madeira de maior diâmetro e qualidade, além das melhorias promovidas no ambiente como proteção da água e do solo, promoção de biodiversidade, efeito térmico, composição cênica e mitigação do efeito estufa.

A adoção dos sistemas agrossilvipastoris como modelo de produção para recuperação de pastagem, diversificação da produção, sombreamento de pastagem ou como uma forma de poupança tem como ponto bastante favorável o fato de que sua implantação não representa uma ruptura brusca na cultura local, seja ela agrícola, florestal ou pecuária (GUERRA, 2010).

Apesar das inúmeras vantagens atribuídas aos sistemas silvipastoris, Dias Filho e Ferreira (2008) atribuíram a pequena adoção a problemas de ordem socioeconômicas, culturais e políticas. Para os mesmos autores, barreiras econômicas, como o alto investimento (em capital, mão de obra e tempo), barreiras operacionais (riscos e complexidade da operação) e barreiras culturais (desconhecimento e percepções equivocadas), são os verdadeiros entraves à adoção mais ampla dos sistemas silvipastoris.

Na região noroeste do estado do Paraná, Nepomuceno e Silva (2009) observaram que a prática silvipastoril já faz parte da cultura produtiva local, especialmente nas propriedades com pecuária de corte. Todavia, a finalidade principal da introdução do componente arbóreo foi o controle de erosão e, por falta de planejamento, o sistema não desempenha todo o seu potencial produtivo, particularmente o relacionado à produção de madeira.

Porfirio da Silva (1994) avaliou um sistema composto de grevilea e capim-estrela em que taxa de lotação da pastagem arborizada aumentou 50% em relação às pastagens tradicionais e sofreu apenas 10% de danos com a geada, contra 90% nas pastagens sem árvores. Com uma população de 198 árvores por hectare, o sistema produziu 122 m³ de madeira para serraria e 79,3 m³ de lenha.

Ribaski, Hoeflich e Ribaski (2009) realizaram uma análise de viabilidade econômica entre diferentes sistemas de produção de madeira com eucalipto, com e sem desbaste, dois sistemas alternativos de conversão da área de pecuária para plantios homogêneos de eucalipto comparados a um sistema tradicional de pecuária. Os autores determinaram que, exceto o sistema silvipastoril com população menor que 500 plantas por hectare, todos os manejos apresentaram Taxa Interna de Retorno (TIR) superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), apresentando-se economicamente viável para o produtor rural, quando não foi considerado o custo da terra. Considerando o valor da terra, todas as alternativas analisadas apresentaram TIR inferior a TMA (3,72%), mostrando ser uma atividade pouco remuneradora. A atividade pecuária tradicional em campo nativo foi sempre deficitária, com taxa interna de retorno negativa, o que também refletiu nos sistema silvipastoris.

Vale et al. (2009), trabalhando com eucalipto em pastagem na Zona da Mata do estado de Minas Gerais, demonstraram que a associação do eucalipto com pastagem proporciona maior desempenho produtivo por unidade de área, com um índice de equivalência de área (IEA) total de 2,13, contra 0,8 do monocultivo de eucalipto e 1,13 da pecuária leiteira.

3.3 Espaçamento de plantio para eucalipto

O espaçamento tem uma série de implicações, do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, pois influencia a taxa de crescimento, a

qualidade da madeira, a idade de corte e, conseqüentemente, os aspectos econômicos do investimento.

Tradicionalmente, nos plantios florestais, o espaçamento de plantio é, a princípio, definido pela finalidade de uso do produto final e, somente após essa definição, levam-se em conta o manejo operacional e a qualidade de sítio e do material genético, entre outros aspectos muitas vezes negligenciados (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Para Scolforo (1997), um dos principais pontos do planejamento de implantação de uma floresta é a definição do espaçamento. O espaçamento é determinado em função do sítio, da espécie e, possivelmente, da qualidade genética do material reprodutivo a ser utilizado, tendo influência sobre as características de crescimento que controlam a produção em volume, a idade de corte e as práticas silviculturais a serem aplicadas nos povoamentos.

Segundo Patiño-Valera (1986), o espaçamento ótimo de plantio é aquele capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado.

Dessa forma, os povoamentos de eucalipto que visam produtos para celulose, escoras de minas, produção de carvão e postes são plantados em espaçamentos menores, enquanto os plantios para madeira serrada são feitos em espaçamentos mais amplos ou com desbastes realizados de forma precoce, visando aproveitar o rápido crescimento inicial das plantas. Outra estratégia para a produção de madeira para serraria é a utilização de sistemas agrossilvipastoris e silvipastoris que proporcionam um produto final com alto valor comercial em médio e em longos prazos (OLIVEIRA, 2005).

Ballloni e Simões (1980) elegeram, como principais aspectos silviculturais relacionados ao espaçamento de plantio, as relações do espaçamento com volume de madeira, com a idade de corte, a qualidade do sítio,

a espécie ou material genético e as práticas silviculturais. Assim, altura de plantas, diâmetro, sobrevivência e conicidade do fuste são aspectos passíveis de alteração pelo espaçamento que alteram não só o volume total de madeira como o volume útil da floresta.

Plantios mais adensados, ou seja, com menor espaço vital, tendem apresentar um crescimento mais rápido em altura, menores diâmetros e menores volumes comerciais por árvore, devido à maior competição e à busca por luz, ao contrário de maiores espaçamentos (BERGER et al., 2002).

Bernardo (1995) estudou o crescimento em altura e diâmetro, a produção de biomassa e a eficiência nutricional de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla*, nos espaçamentos de 4x3 m, 3x3 m e 3x1,5 m e encontrou respostas diferenciadas quanto aos parâmetros avaliados entre as três espécies, aos 41 meses. *E. urophylla* apresentou maior altura no menor espaçamento, enquanto *E. camaldulensis* teve comportamento contrário, maior altura encontrada no maior espaçamento. Já *E. pellita* não apresentou diferenças para esta característica.

Assis et al. (1999), trabalhando também com *E. urophylla* em função de diferentes espaçamentos, encontraram maior altura aos 49 meses de idade, nos espaçamentos mais reduzidos (3,3x2 m), atribuindo este comportamento à maior competição e à consequente busca por luz.

Balloni e Simões (1980) afirmam que o aumento do diâmetro a altura do peito (DAP) em função do aumento do espaçamento é confirmado por inúmeros trabalhos, sendo tanto maior quanto maior for a área útil por planta e a idade do povoamento, dentro de limites razoáveis. Entretanto, a influência do espaçamento na altura é controversa, com casos em que a altura média aumenta com o espaçamento e casos contrários a esse comportamento. Em um experimento apresentado por estes autores, verificou-se que a altura média das

plantas diminuiu com a diminuição do espaçamento, mas a altura média de 15% das árvores dominantes foi a mesma.

Magalhães et al. (2007), testando diferentes materiais genéticos de eucalipto, não encontraram diferença na altura das plantas arrançadas em espaçamentos que variaram de 3x2 m a 6x4 m. Entre os materiais genéticos testados, as alturas variaram de 15,8 m a 28,48 m, aos 9,4 anos de implantação. Estes autores ainda alertam para a dificuldade de analisar as respostas de crescimento em altura em relação ao espaçamento, uma vez que, normalmente, os espaçamentos utilizados são, no máximo, de 3x3 m. Berger et al. (2002) também chamam a atenção para a influência da idade da avaliação em relação ao efeito do espaçamento na altura das plantas.

Oliveira et al. (2009) também afirmam que a escolha do espaçamento inicial de plantio tem um impacto muito maior no diâmetro do que na altura. Estes mesmos autores, estudando a dinâmica de crescimento de eucalipto em diversos espaçamentos e arranjos, não encontraram relação conclusiva do efeito do espaçamento na altura das plantas já aos 38 meses de idade, com os espaçamentos mais densos resultando em alturas maiores. Aos 51 meses de idade, o comportamento do crescimento em altura foi diferente, com os maiores valores encontrados nos espaçamentos em torno de 30 m² por árvore. Esse comportamento é, segundo Bernardo (1995), resultado de um maior número de árvores dominadas nos espaçamentos mais adensados.

Segundo Smith e Strub (1991), a escolha do espaçamento inicial de plantio tem forte impacto no diâmetro das plantas. Assim, arranjos mais amplos produzem árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior e com altura similar à das árvores de arranjos mais estreitos.

Oliveira et al. (2009) não encontraram, até os 18 meses de idade, diferenças no volume de madeira por planta em um povoamento de eucalipto implantado em vários arranjos, com área útil variando entre 6 a 40 m² por planta.

Segundo os autores, isso mostra que, para esta condição, a competição entre plantas se iniciou a partir desse ponto. Aos 38 meses após o plantio, os arranjos com maior área útil proporcionaram maiores diâmetros à altura do peito. Aos 51 meses, a média dos diâmetros foi de 20,74 cm, 20,20 cm, 14,00 cm e 11,83 cm de DAP, para os espaçamentos de 10x4 m, 10x3 m, 3,3x3 m e 3,3x2 m, respectivamente, diretamente proporcional à área útil de cada tratamento.

Da mesma forma, Leles et al. (1998) relataram um aumento de DAP com o aumento da área útil das plantas, aos 52 meses de idade, com valores variando entre 6,7 cm a 14,83 cm e 19,10 cm, para *E. camaldulensis*, nos espaçamentos 3x1 m, 6x4 m e 9x9 m, respectivamente. Para *E. pellita*, o DAP variou de 8,40 cm a 16,23 cm e 18,41 cm, nesses mesmos espaçamentos.

Demolinari (2006), trabalhando com crescimento de eucalipto não desbastado, concluiu que a estagnação do crescimento ocorreu mais cedo nos sítios de melhor qualidade, devido ao maior crescimento das plantas e à consequente antecipação da competição. Ainda segundo este autor, as árvores maiores em idades iniciais são aquelas que atingirão maiores tamanhos em idades futuras, com a probabilidade de morte maior nas árvores com menores taxas de crescimento. Dessa forma, inicialmente, a mortalidade é menor nos melhores sítios, com tendência à inversão com a queda na taxa de crescimento.

O espaçamento de plantio também influencia a idade de corte da floresta, uma vez que, nos espaçamentos mais adensados, a competição entre plantas se inicia mais cedo. Soares et al. (2003), trabalhando com análise econômica em um povoamento de *E. urophylla*, nos espaçamentos 3,5x2,6 m e 2,9x3,0 m, encontraram a idade econômica ideal de corte aos 7, 8 e 10 anos, para as classes locais I, II e III. Entretanto, com o uso de desbastes, a idade econômica de corte ideal subiu para 12, 13 e 14 anos, para as mesmas classes de sítio, quando foram realizados desbastes de 20% e 40%.

A determinação da idade de corte é uma decisão complexa, pois ela é influenciada por diversos fatores, como a taxa de juros ou de desconto, a produtividade da floresta, o valor da madeira, os custos de produção, o espaçamento utilizado, a finalidade da madeira, a escolha da espécie, a quantidade de fertilizante utilizado e o horizonte de planejamento (FERREIRA, 2001).

Chaves (1997) verificou que, em *E. grandis*, o ponto técnico de corte (incremento médio anual igual ao incremento corrente anual) foi de 5 anos, para o espaçamento mais adensado (3x1 m) e 6 anos, para o espaçamento mais amplo (3x4 m), concluindo que variações expressivas nos espaçamentos afetam pouco a época de corte.

Para Schneider (2004), no fim de uma rotação, o volume total produzido, geralmente, é maior para densidades maiores, porém, são as condições econômicas (mercado, sortimento e preços) que vão determinar se é melhor produzir maior volume total com diâmetro de menor dimensão ou menor volume total, mas com diâmetro de maior dimensão.

Resende e Fantini Júnior (2001) relataram, como conclusões comuns entre diversos trabalhos realizados sobre espaçamento de eucalipto, que a redução do espaçamento provoca: aumento da porcentagem de falhas, redução do crescimento por árvore, aumento da produtividade por área (em uma certa amplitude de espaçamentos) e manutenção da altura média das árvores dominantes (o índice de sítio permanece constante).

Ainda estes autores, citando Schonau e Coetzee (1989), que realizaram um balanço dos resultados experimentais envolvendo espaçamento em *Eucalyptus* spp. na África do Sul, concluíram que a competição dentro das linhas de plantio não é compensada pela maior distância entre linhas; bons sítios com solos profundos e alta precipitação efetiva devem ter altas densidades de plantas; raramente é necessário mais que 3 m entre fileiras, pois, acima disso, o custo de

controle de plantas daninhas pode ser comprometedor; o espaçamento 3x3 m pode não usar todo o potencial de crescimento do sítio e não pode ser recomendado de maneira generalizada.

3.4 Manejo florestal de eucalipto para múltiplos produtos

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2011), o Brasil atingiu uma área de plantios de *Eucalyptus* spp. de, aproximadamente, 4,75 milhões de hectares, em 2010 e continua em processo de expansão. Tradicionalmente, a grande maioria desses plantios é destinada à indústria de celulose e carvão. Para serraria, dentre as espécies florestais plantadas, as do gênero *Pinus* são as mais utilizadas, entretanto, o uso de madeira de eucalipto já desperta grande interesse para este uso. Dessa forma, a tendência é de reversão deste quadro a médio e a longo prazos, devendo a utilização de madeira de eucalipto superar o uso de madeira de *Pinus*.

De acordo com Soares, Carvalho e Vale (2003), a tendência é que parte das plantações de eucalipto seja utilizada segundo o conceito de florestas para multiprodutos, em que, de um mesmo fuste de uma árvore, consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para a fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos. Essa, provavelmente, será a opção que deverá apresentar a maior possibilidade de remuneração dos produtos advindos de povoamentos florestais.

Para Assis et al. (2001), as florestas manejadas e direcionadas para a obtenção de multiprodutos da madeira garantem a maximização dos lucros, na medida em que são adotadas práticas com o objetivo de agregar valor à madeira. Além disso, a obtenção de múltiplos produtos reduz o impacto das oscilações do mercado sobre cada produto individualmente.

A obtenção de madeira para múltiplos produtos passa por um planejamento diferenciado das atividades silviculturais, com destaque para a utilização de desbastes, podas ou desramas e espaçamentos de plantio distintos dos sistemas tradicionais de produção visando celulose e carvão. Dessa forma, podem-se obter toras de diversas bitolas, a fim de atender aos diversos mercados para os mais variados produtos florestais.

Na produção de madeira para serraria, Couto (1995) relata que muitas práticas silviculturais se assemelham às dos plantios tradicionais para carvão e celulose. Entretanto, o regime de condução do povoamento difere em diversos aspectos, especialmente nos desbastes e na exploração florestal, nos processos de desramas, de desbrota e na densidade de plantio. A partir da utilização destas práticas, pode-se priorizar a produção de madeira para celulose, carvão e painéis ou madeiras para serraria ou, ainda, otimizar a produção para os dois tipos de madeira, conforme as condições tanto de sítio quanto de mercado.

Neste mesmo sentido, Maestri, Nutto e Sartorio (2005) descrevem um sistema de manejo para uso múltiplo em que o espaçamento inicial é o mesmo utilizado para a produção madeira de menores diâmetros, mas são realizados dois a três desbastes, baseados em critérios relacionados ao adensamento da área como área basal, incremento médio anual ou outros, conforme o propósito da produção. Assim, atingem-se, ao longo da exploração florestal, as demandas por produtos das diversas dimensões, partindo-se de um mesmo espaçamento de plantio. Os maiores volumes de madeira são obtidos nas toras de diâmetros menores, enquanto as toras de maiores dimensões são obtidas no final da rotação, de acordo com o tempo destinado a esta e a qualidade do sítio em questão.

Scolforo (1997) afirma que, com a aplicação de determinado regime de manejo, é possível obter toras em quantidades e qualidades diferentes,

entretanto, deve-se considerar que um mesmo regime aplicado a diferentes espécies ou classes de sítio terá efeitos distintos em um ou outro.

3.4.1 Desbastes

O desbaste é a principal prática silvicultural no regime de uso múltiplo, especialmente quando o espaçamento de plantio inicial é adensado. Couto (1995) definiu o termo desbastes como cortes parciais feitos em povoamentos imaturos, com o objetivo de estimular o crescimento das árvores remanescentes, direcionando, assim, o potencial de crescimento do sítio a estas árvores, gerando aumento da produção de madeira de melhor qualidade, especialmente quanto ao diâmetro e à forma das árvores remanescentes.

A aplicação do desbaste passa por definições como quais árvores serão desbastadas, em que quantidade ou em que volume serão retiradas e, ainda, quando serão retiradas, ou seja, devem ser definidos o método, a intensidade e a idade do desbaste (DIAS et al., 2005).

Quanto ao sistema de desbaste, este mesmo autor cita três tipos mais comuns, que são o sistema seletivo, em que as árvores desbastadas são selecionadas; o sistemático, no qual a escolha das árvores é previa, sem considerar as características da árvore e o misto, que utiliza os dois critérios.

A intensidade do desbaste se refere à quantidade de plantas removidas do povoamento e tem grande impacto sobre os parâmetros de crescimento do povoamento, especialmente o diâmetro. Normalmente, a taxa de desbaste é definida em termos de área basal, volume ou número de plantas.

De acordo com a intensidade do desbaste, pode ou não haver redução na produção bruta. Taxas de desbastes extremas podem causar redução na produção. No caso de desbastes muito severos, corre-se o risco de deixar o sítio subutilizado por um período de tempo ou, até mesmo, reduzir o volume de

madeira comercial por ocasião da idade de corte. Sob taxas de desbaste pequenas, a competição entre plantas se restabelece, diminuindo o volume de madeira comercial e tornando o sítio superestocado, o que também limita a produção total. Entretanto, desbastes de intensidade adequada, aplicados no momento certo, permitem melhorar a qualidade da madeira, homogeneizar os sortimentos e aumentar a dimensão das árvores, sem levar a perdas significativas de volume (DIAS et al., 2005; SCHNEIDER et al., 1998).

Para Scolforo (2006), em sítios mais produtivos, há uma tendência de a melhor estratégia ser a de se utilizar espaçamentos mais amplos ou maiores taxas de desbaste que propiciam um crescimento individual maior e, conseqüentemente, o máximo aproveitamento dos fatores de produção locais.

Schneider et al. (1998), trabalhando com intensidades de desbastes em povoamento de *E. grandis* no Rio Grande do Sul, encontraram, aos 189 meses, perdas de 15,4% da produção total com o desbaste de 40% da área basal. Porém, esta intensidade de desbaste proporcionou um acréscimo de 6,4 cm, ou 23,9%, no diâmetro médio.

Comumente, a definição da intensidade de desbaste é realizada tendo como base critério econômicos. Assim, Soares, Carvalho e Vale (2003) estudaram as variações de intensidades de desbaste (0%, 20%, 40% e 60% de retirada em área basal) para projeções realizadas em diferentes classes de local com o método de avaliação econômica do valor anual equivalente (VAE). Os resultados mostraram que o desbaste de 20% da área basal propiciou maior lucratividade e aumentou tempo da rotação econômica.

O desbaste também tem efeito sobre a qualidade da madeira e, de acordo com a espécie, tem um impacto distinto. De acordo com Couto (1995), o desbaste tende a diminuir a densidade básica da madeira, quando realizado em povoamentos de *Pinus* sp. e a aumentar em *Eucalyptus* sp.

Para o gênero *Eucalyptus*, a manutenção de um ritmo de crescimento acelerado propicia um aumento precoce da densidade básica e gera menor tensão no sentido medula casca, produzindo madeira de melhor qualidade, com menor tendência a rachaduras. Este comportamento foi descrito por Malan e Hoon (1992), na África do Sul, e pode ser potencializado ao longo do tempo por meio dos desbastes. Estes autores encontraram variações na densidade básica da madeira variando de 0,55 a 0,677 g.cm⁻³, conforme o regime de desbastes.

Da mesma forma, Lima (2005) relatou que a alta intensidade de desbaste induziu a produção de madeira com massa específica, mais homogênea ao longo do raio da tora, em uma população de *E. grandis*, aos 21 anos de idade.

Para alta intensidade de desbaste, Couto (1995) alerta para a adaptação das árvores remanescentes no período que se segue após o desbaste. A árvore adaptada em ambiente abrigado e em competição encontra-se inesperadamente isolada, com a arquitetura da copa e do tronco vulneráveis à ação de ventos. Assim, inicialmente, a reação da árvore é transferir a energia destinada ao crescimento para a adaptação à nova situação ambiental. Com isso, os crescimentos iniciais logo após o desbaste são lentos e, portanto, os desbastes devem ser pouco intensos e mais frequentes. Entretanto, a intensidade e a frequência devem ser economicamente viáveis.

3.4.2 Desrama

A desrama é uma prática silvicultural utilizada principalmente para a produção de madeira livre de nós, reduzindo e limitando o tamanho do núcleo nodoso e, com isso, aumentando a qualidade da madeira e seu valor comercial. Alterações na conicidade do fuste e na proteção contra incêndios são outros benefícios também atribuídos a esta prática (PEREIRA; AHRENS, 2003).

De acordo com Hawley e Smith (1972), o valor e a utilidade da madeira de povoamentos manejados são reduzidos, principalmente pelos nós e pelas distorções da grã, por eles causados. Apesar de muitas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentarem desrama natural, a permanência dos ramos secos nas idades jovens ou a retirada dos mesmos ocasionam problemas de nós ou bolsa de resina na madeira, sendo que ambas diminuem a resistência física das peças de madeira e prejudicam a aparência (COUTO, 1995).

A desrama, quando aplicada de maneira inadequada, pode limitar o crescimento das plantas, uma vez que a redução da superfície fotossintética diminui a quantidade de foto assimilados produzidos na copa. Para o eucalipto, a desrama deve ser feita com os ramos ainda verdes, entre 1,5 e 3,0 anos de idade, conforme o desenvolvimento do povoamento. A primeira desrama pode atingir até 50% da copa viva, ou seja, entre 2 e 3 m, de acordo com o tamanho das plantas (COUTO, 1995). Já para Shimoyama e Barrichelo (1989), reduções de crescimento são verificadas com a remoção de cerca de um terço da copa viva.

Pires (2000) encontrou uma diminuição do crescimento de plantas de *E. grandis* aos 92 meses de idade, quando se retirou mais que 25% da altura de copa viva das plantas aos 11 meses de idade. Essa redução de crescimento foi atribuída à intensa remoção de área foliar, uma vez que a remoção de 25% e 50% da copa viva eliminou 43% e 81%, respectivamente, da área foliar. Resultado semelhante foi obtido por Monte et al. (2009), em que uma desrama de 1,5 m de altura da copa viva do *E. grandis*, aos 16 meses, retirou 80% da biomassa de galhos e folhas e resultou, aos 93 meses de idade, numa frequência de 65% das plantas com diâmetros abaixo de 15cm.

Shimoyama e Barrichelo (1989) explicam que a produção de madeira e suas características dependem da atividade cambial e da diferenciação do xilema que, por sua vez, são controlados pela produção de hormônios nas gemas foliares. Quanto maior a produção desses hormônios, maior será o ritmo de

crescimento da planta, havendo, então, formação de maior porcentagem de lenho inicial. Dessa maneira, árvores com copas maiores tendem a apresentar densidade mais baixa em relação às demais. Assim, a desrama reduzirá a produção de madeira inicial, aumentando a densidade.

Polli et al. (2006), estudando a qualidade de madeira serrada de *E. grandis*, não encontraram diferenças na densidade de madeira de plantas submetidas a diferentes alturas de desrama. Entretanto, a densidade aumentou significativamente no sentido medula-casca e decresceu no sentido base-topo.

3.5 Parâmetros econômicos em sistemas agroflorestais

A aplicação dos critérios de análise econômica em projetos na área florestal tem sido fundamental para a decisão sobre qual o melhor projeto ou alternativa de manejo a serem adotados (SILVA; FONTES, 2005). Assim, critérios como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Razão Benefício/Custo (B/C), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET) têm sido muito empregados na tomada de decisão e avaliação de projetos florestais. Segundo estes mesmos autores, todos estes critérios são válidos e adequados, desde que se conheça a diferença entre eles e, assim, sua correta forma de interpretá-los.

Souza (2005) reforça que estes critérios devem considerar o valor do capital no tempo, visto que os projetos florestais são de longo prazo de maturação financeira. Para este autor, o Valor Presente Líquido é o critério mais utilizado para este fim.

Souza et al. (2007) encontraram valores de VPL para um sistema agroflorestal em que se utilizou a consorciação de eucalipto, arroz, soja e pastagem, variando de R\$ -496,21 a R\$ 928,98, nas áreas com índice de sítio de 17,9 m e de R\$ 345,63 a R\$ 1.909,94 e R\$ -1,13 a R\$ 2.229,67, nas áreas com

índice de sítio de 21,5 m e 25,5 m, respectivamente, conforme foi variando a idade de exploração e o produto e respectivo preço de venda da madeira. A viabilidade econômica dos sistemas agroflorestais foi dependente das atividades florestais e pecuárias e teve sua viabilidade aumentada à medida que se agregou valor aos produtos florestais.

Em uma análise financeira com três sistemas de exploração na Zona da Mata mineira, Vale (2004) obteve valor presente líquido (VPL) de R\$ 16.302,54, R\$ 7.223,94 e R\$ 6.015,27, para sistema silvipastoril com eucalipto e pecuária leiteira, eucalipto e pecuária leiteira, respectivamente. Das atividades analisadas, a pecuária leiteira apresentou o maior TIR (52%), seguida dos sistemas silvipastoril e eucalipto, com 27,5% e 24,8%, respectivamente.

Dubè (1999), comparando sistemas puros de produção de eucalipto com sistemas agrossilvipastoris com eucalipto, arroz, soja e pecuária bovina, observou, nas simulações realizadas com a flutuação nos preços de venda dos produtos, que nenhuma queda individual de 20% acarretou VPL (valor presente líquido), VET e B(C)PE negativos, B/C (relação benefício-custo) inferior a 1 e TIR (taxa interna de retorno) inferior à taxa de juros de 10%. Todavia, a queda simultânea de 20% nos preços afetou negativamente os indicadores, inviabilizando o sistema agroflorestal.

Cordeiro (2010) estimou o retorno financeiro de unidades demonstrativas de sistemas agroflorestais com eucalipto implantado na região de Viçosa, MG e concluiu que os sistemas agroflorestais foram economicamente viáveis, exceto quando implantados em populações muito baixas, de 75 plantas por hectare. Os valores de VPL foram de R\$ 3.037,54 por hectare para o plantio em monocultivo, R\$ 17.391,13 para o sistema agrossilvipastoril e R\$ 17.657,91 para o sistema silvipastoril. A taxa interna de retorno (TIR) e o valor esperado da terra (VET) foram, respectivamente, para os três sistemas, de 19% e R\$4.396,00; 31% e R\$28.862,36 e 33% e R\$29.305,10.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Riacho, de propriedade da empresa Votorantim Siderurgia (antiga Votorantim-Metals, Unidade Agroflorestal), em área de cerrado, no noroeste de Minas Gerais, município de Paracatu, situada a 17° 36' de latitude Sul e 46° 42' de longitude Oeste, com altitude de 550 m.

O clima da região é tropical úmido de savana, tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso, conforme a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 22,6 °C, com média mensal de 18 °C na estação mais fria e 29,1 °C na mais quente. A precipitação média anual é de 1.450 mm, concentrada, principalmente, nos meses de novembro a fevereiro, apresentando precipitações médias mensais inferiores a 60 mm, nos meses mais secos (ANTUNES, 1986; BRASIL, 1992).

4.2 Implantação e condução do experimento

O trabalho foi implantado no ano de 1999, em uma área plana e homogênea, sobre Latossolo Vermelho, com vegetação original de cerrado. O preparo de solo foi realizado com destoca da área, uma aração profunda e duas gradagens niveladoras.

A correção do solo consistiu na aplicação de 2,5 t. ha⁻¹ de calcário (85% PRNT), aplicadas previamente às operações iniciais de plantio. Para o plantio dos clones de eucalipto, foi utilizada uma grade tipo “bedding”, levantados camalhões com altura aproximada de 40 cm, sempre no sentido leste-oeste, visando prover luz às culturas agrícolas e pastagens a serem consorciadas nas

entrelinhas. Na linha de plantio do eucalipto, no espaçamento 10 x 4, foi distribuída uma mistura de 240 kg.ha⁻¹ de fosfato natural, 120 kg.ha⁻¹ de gesso agrícola e 48 kg.ha⁻¹ de óxido de magnésio, totalizando 408 kg.ha⁻¹. Nos demais tratamentos, para a análise financeira, assumiu-se que os gastos foram proporcionais ao número de sulcos de cada arranjo de plantio, mantendo-se a proporção dentro do limite utilizado por Dubè (1999), em que o tratamento 3x3 teve adubação 66% maior que a utilizada no tratamento 10x4.

Foi ainda realizada adubação de plantio com NPK na formulação 10-28-06, com 150 g por cova (DUBÈ, 1999).

O plantio de arroz (ano zero) e soja (ano 1) nas entrelinhas do eucalipto foi realizado mantendo-se 1 m de distância das linhas de plantio do eucalipto. A adubação de plantio consistiu de 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 04-30-16, para o arroz e 300 kg ha⁻¹ da fórmula 02-30-15, para a soja. Antecedendo ao plantio de soja, ainda foi feita uma calagem, com 3 toneladas de calcário dolomítico por hectare.

As pastagens foram implantadas utilizando-se 1 tonelada de calcário por hectare, antecipadamente ao plantio. O semeio foi feito a lanço, com a adubação de 150 kg. ha⁻¹ de fosfato reativo e 150 kg. ha⁻¹ de superfosfato simples.

É importante lembrar que os tratamentos tidos como tradicionais, ou seja, com entrelinhas de até 5 m (5x2, 33,3x3 e 3,3x2) não foram implantados como sistema agroflorestral, portanto, eles não têm a implantação agrícola e da pastagem no seu desenvolvimento.

A cronologia de implantação do experimento dentro dos sistemas agroflorestrais seguiu o procedimento normalmente utilizado pela Empresa, descrito a seguir:

- a) ano zero - preparo de solo, plantio das mudas de eucalipto e, nas entrelinhas de eucalipto, plantio de arroz (*Oriza sativa*);

- b) ano 1 - as entrelinhas de eucalipto são preparadas e cultivadas com soja (*Glycine max*);
- c) ano 2 - formação de pastagens. A formação da pastagem com *Brachiaria brizantha* foi realizada utilizando-se o sistema barreirão, que consiste na semeadura de sementes forrageiras junto com o plantio de uma cultura, neste caso, o arroz, novamente;
- d) ano 3 - a partir deste ano, as áreas são manejadas como pastagens, divididas em piquetes de 1,5 ha, sob pastejo de novilhos;
- e) V – ano quatro em diante - a área foi manejada como pastagem até o período final de colheita do eucalipto. Nos anos 5 e 8 foi computada uma manutenção das pastagens (DUBÈ, 1999).

4.3 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições. Nas parcelas, estudou-se o efeito de tratamentos, sendo estes 11 arranjos estruturais de plantio, compostos por I - arranjos em linhas simples: 3,3x2 m, 3,3x3 m, 5x2 m, 10x2 m, 10x3 m, 10x4 m; II - arranjos em linhas duplas: (3x4)+7 m, (3x3)+10 m, (3x4)+10 m, (3x3)+15 m e III - arranjo combinado com linhas simples e duplas: (3x4)+7+10 m.

Os arranjos com entrelinhas inferiores a 7 m não foram implantados com os cultivos agrícolas, portanto, são sistemas tidos como convencionais.

A forma de cada arranjo estrutural está representada esquematicamente na Figura 1.

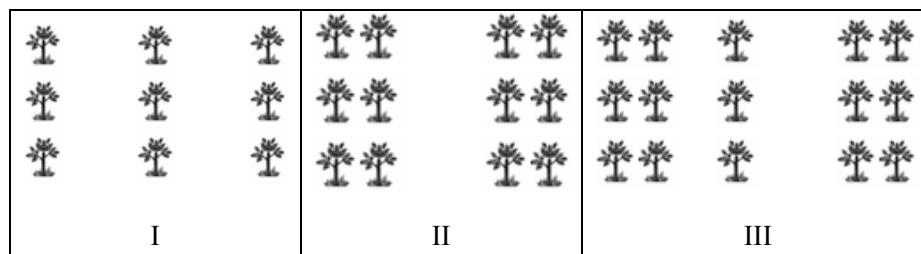


Figura 1 Modelos esquemáticos dos arranjos estruturais de plantio de eucalipto. I Arranjos simples, II arranjos duplos e III arranjo combinado

O sistema agrossilvipastoril na sua fase de exploração silvipastoril é apresentado na Figura 2.



Figura 2 Vista geral do sistema agrossilvipastoril na fase de exploração silvipastoril

Os tratamentos foram denominados, segundo o espaçamento útil, como:
 T1 – 10x4 m; T2 – 10x3 m; T3 - (3x3)+15 m; T4 - (3x4)+7+10 m; T5 - (3x4)+10 m; T6 – 10x2 m; T7 - (3x4)+7 m; T8 (3x3)+10 m; T9 – 5x2 m ; T10- 3,3x3 m; T11 - 3,3x2 m.

Os espaçamentos de plantio foram locados nas parcelas e as subparcelas corresponderam às seis épocas de avaliação (51, 64, 77, 88, 103 e 122 meses após o plantio).

As parcelas experimentais permanentes foram implantadas com uma planta em cada bordadura de cabeceira e duas linhas em cada bordadura lateral. O número de plantas e linhas avaliadas na parcela útil, a área útil por planta e o número de árvores por hectare são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Descrição dos tratamentos quanto ao número de árvores e linhas da parcela útil, área útil por planta e número de árvores por hectare, para diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com *Eucalyptus sp.*, em Paracatu, MG

Arranjos estruturais	Parcela útil	Área útil m ² planta ⁻¹	Nº de árv. ha ⁻¹
10 x 4	2 linhas de 5 plantas: 10 plantas avaliadas	40,00 m ²	250
10 x 3	3 linhas de 5 plantas: 15 plantas avaliadas	30,00 m ²	333
(3x3)+15	4 linhas de 5 plantas: 20 plantas avaliadas	27,00 m ²	370
(3x4)+7+10	6 linhas de 3 plantas: 18 plantas avaliadas	20/34/26 m ² *	375
(3x4)+10	4 linhas de 4 plantas: 16 plantas avaliadas	26,00 m ²	385
10 x 2	2 linhas de 10 plantas: 20 plantas avaliadas	20,00 m ²	500
(3x4)+7	4 linhas de 5 plantas: 20 plantas avaliadas	20,00 m ²	500
(3x3)+10	4 linhas de 7 plantas: 28 plantas avaliadas	19,50 m ²	512
5 x 2	4 linhas de 10 plantas: 40 plantas avaliadas	10,00 m ²	1000
3x 3	4 linhas de 10 plantas: 40 plantas avaliadas	10,00 m ²	1001
3x 2	6 linhas de 10 plantas: 60 plantas avaliadas	6,67 m ²	1500

*Área útil/planta segundo a disposição diferenciada das linhas de plantio no arranjo (3x4)+7+10 m

O modelo estatístico (1) que descreveu as observações do experimento sobre os diferentes arranjos estruturais, nas seis épocas de avaliação, foi o que segue:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + tb_{ij} + p_k + pb_{jk} + tp_{ik} + e_{ijkl} \quad (1)$$

em que

Y_{ijk} é o efeito dos arranjos estruturais i , no período de avaliação k , no bloco j ;

μ é uma constante;

t_i é o efeito dos arranjos estruturais i , $i = 1, 2, 3, \dots, 11$;

b_j é o efeito do bloco j , $j = 1, 2, 3, 4, 5$;

tb_{ij} é o erro (a), da interação dos arranjos estruturais i com os blocos j ;

p_k é o efeito dos períodos de avaliação k , $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

pb_{jk} é o erro (b), da interação dos períodos de avaliação k com os blocos j ;

tp_{ik} - efeito da interação dos arranjos estruturais i com período de avaliação k ;

e_{ijk} é o erro experimental (c).

4.4 Avaliações

Os dados da avaliação aos 51 meses, já foram analisados por Oliveira (2005) e servem como ponto comum aos dois trabalhos que são provenientes da mesma área.

As avaliações descritas a seguir foram realizadas aos 51, 64, 77, 88, 103 e 122 meses após o plantio das mudas de eucalipto.

4.4.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Foi medida a circunferência à altura do peito (1,30 m acima do nível do solo) de todas as árvores encontradas na área útil de cada parcela, com o auxílio de fita métrica. Calculou-se o DAP por árvore, dividindo-se cada valor por π e, posteriormente, o DAP médio de cada parcela, em centímetros, para cada período de avaliação.

4.4.2 Diâmetro dominante (DAPd)

Por meio dos dados de diâmetro à altura do peito, foi determinado o diâmetro dominante de cada parcela, que consistiu na média aritmética das cinco árvores mais grossas do povoamento (proporcional a 100 árvores por hectare) pelo princípio de Assmann (SCOLFORO, 2006).

4.4.3 Altura de plantas (H)

A altura total das plantas foi determinada para todas as árvores encontradas na parcela útil, com auxílio de um aparelho hipsômetro *Suunto*, sendo obtida a média aritmética da altura de plantas, em metros, para cada arranjo, em cada época de avaliação.

4.4.4 Altura de plantas dominante (Hd)

Foram tomadas as alturas das cinco plantas de diâmetro dominante por parcela (100 plantas por hectare) e determinada a altura dominante média de cada parcela (SCOLFORO, 2006).

4.4.5 Área seccional (g) e área basal por hectare (G)

A área seccional (2) dos indivíduos de cada parcela foi calculada por meio da expressão:

$$g = \pi \frac{(DAP)^2}{40000} \quad (2)$$

em que

g : área seccional da planta, em m^2 ;

π : constante (3,141592654);

DAP: diâmetro à altura do peito (cm).

A área basal (3) por hectare (G) foi obtida pela multiplicação da área seccional média da parcela pelo número de árvores por hectare correspondente a cada arranjo estrutural avaliado, representada pela expressão:

$$G = g.N \quad (3)$$

em que

G : área basal por hectare em m^2 ;

g : área seccional média da planta em m^2 ;

N : número de plantas por hectare.

4.4.6 Volume individual ($V.ind$) e volume por hectare ($V.ha$)

Tomando-se os valores de H e DAP das árvores de cada parcela foi obtido o volume (4) de cada indivíduo da área útil das parcelas por meio da expressão

$$V.ind = \frac{\pi.DAP^2}{40000} .H.f \quad (4)$$

em que

$V.ind$: volume individual por planta (m^3);

DAP: diâmetro à altura do peito (cm);

H: altura das árvores (m);

f: fator de forma (0,42) – Fornecido pela empresa Votorantin Siderurgia.

O volume por hectare (5) foi calculado por meio da multiplicação do volume individual médio por planta de cada parcela pelo número de árvores por hectare específico para cada arranjo estrutural avaliado, descrito pela expressão

$$VHa = Vind.N \quad (5)$$

em que

VHa: volume total em ($m^3 \cdot hectares^{-1}$);

V.ind: volume individual médio por planta (m^3) na parcela;

N: número de plantas por hectare correspondente a cada tratamento.

4.4.7 Incremento médio anual de madeira com casca (IMA)

O incremento médio anual do volume por hectare foi calculado pela divisão do volume total estimado por hectare pela idade atual do povoamento florestal, em anos, por ocasião de cada avaliação, expresso em metros cúbicos (m^3/ha).

4.4.8 Incremento corrente anual de madeira com casca (ICA)

O incremento corrente anual do volume por hectare, expresso em metros cúbicos ($m^3 ha^{-1}$), foi calculado por meio da diferença de crescimento do volume estimado por hectare, entre as avaliações anuais.

4.4.9 Caracterização da distribuição diamétrica

Os dados de diâmetro à altura do peito (DAP) das plantas aos 122 meses foram classificados por classes diamétricas em intervalos de 5 cm da seguinte forma: classe 1 <10 cm, classe 2 <10>15 cm, classe 3 <15>20 cm, classe 4 <20>25 cm, classe 5 <25>30 cm e classe 6 >30 cm.

4.5 Dinâmica de crescimento

Os dados do período compreendido entre os 51 e 122 meses foram agrupados ao período anterior, estudado por Oliveira (2005), que abrangeu o período de 18 aos 51 meses após plantio. A estes dados foi aplicado um modelo de regressão no desdobramento de anos dentro dos arranjos estruturais para as variáveis DAP e volume por hectare, altura de plantas (H) e área basal por hectare (G ha), no qual foram ajustadas as equações do modelo de Chapman e Richards (6) (SCOLFORO, 2006), dado pela equação

$$y = b_0(1 - e^{(b_1 \cdot I)})^{b_2} + e_i \quad (6)$$

em que

y: variável dependente;

I: idade;

b₀, b₁, b₂: parâmetros da equação;

e_i : erro de estimativa.

De posse das equações ajustadas para volume, foram traçadas as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) e, destas, determinadas a rotação silvicultural ótima para cada espaçamento, utilizando-se

a curva de incremento médio anual e, desta, calculado o ponto de máximo incremento médio, por meio da derivada primeira da equação do incremento médio anual.

4.6 Cubagem das árvores

Aos 144 meses após o plantio, foram selecionadas duas plantas por classe diamétrica em cada tratamento e, destas, com auxílio de uma suta, tomadas as medidas de diâmetro a 0,1; 0,3; 0,8; 1,3 e 2,3 m acima do solo. As demais medições de diâmetro a alturas acima de 2,3 m foram realizadas com o auxílio de um pentaprisma de Wheeler e a altura medida com um hipsômetro *Suunto*. Foram cubadas 79 árvores no total e, no mínimo, 6 árvores por tratamento. Em cada árvore, as medidas de diâmetro nas alturas de 1,3 e 2,3 m, obtidas pela suta, eram comparadas à medida obtida pelo pentaprisma como forma de aferição.

4.6.1 Função de afilamento e determinação de sortimentos

A partir dos dados obtidos na cubagem das árvores, foram ajustadas funções de afilamento das plantas (programa estatístico *Statgraphics plus 2.1*), utilizando-se o modelo Polinômio do Quinto Grau (7) (SCHÖEPFER, 1966 citado por QUEIROZ et al., 2006), descrito a seguir.

$$\frac{di}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{ht} \right)^1 + \beta_2 \left(\frac{hi}{ht} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{ht} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{ht} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{ht} \right)^5 + e_i. \quad (7)$$

em que

β_i : parâmetros a serem estimados;

d_i : diâmetro tomado em diferentes alturas h_i ao longo do fuste;

DAP : diâmetro a 1,3 m de altura;

ht : altura total do fuste (m);

h_i : altura i , em metros, de um referido diâmetro;

e_i : erro de estimativa.

As equações geradas para cada tratamento foram submetidas ao teste de identidade de modelos segundo Graybill (1976 citado por QUEIROZ et al., 2006). Este método consiste em verificar, estatisticamente, pelo teste de F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada tratamento isolado, chamado modelo completo, e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados, chamado de modelo reduzido. Na Tabela 2 é apresentado o modelo de análise de variância utilizado no teste de identidade de modelos.

Tabela 2 Análise de variância para o teste de identidade dos modelos de afilamento entre os tratamentos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Modelo completo	(Txp)	SQ _C		
Modelo reduzido	P	SQ _R		
Diferença (H ₀)	(T-1)p	SQ _C - SQ _R	SQ _D /(T-1)p	QM _D
Resíduo	N-(Txp)	SQ _{Total} - SQ _R	SQ _R / N-(Txp)	QM _R
Total	N	SQ _{Total}		

GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio; T = número de tratamentos; SQ_R = soma de quadrados do modelo reduzido; SQ_C = soma de quadrados do modelo completo, obtida do somatório das SQ dos modelos individuais; SQ_D = soma de quadrado da diferença; QM_R = quadrado médio do modelo reduzido; QM_D = quadrado médio da diferença; p = número de parâmetros do modelo; N = número de observações do modelo completo; F = teste de f

Dos modelos selecionados, foi determinado o sortimento de produtos para cada tratamento, na data do último inventário, realizado em fevereiro de 2010.

Para a verificação da qualidade do ajuste foram utilizados os coeficientes de determinação (R^2), erro padrão residual (Syx) e gráfico de distribuição de resíduos.

4.7 Análise econômica

Os dados de sortimento da floresta foram precificados de acordo com o preço de madeira em pé vigente no mercado regional em janeiro de 2012, de acordo com empresas imunizadoras de madeira, além de madeira comercializada pela própria empresa.

Os custos totais de implantação do projeto foram resgatados do trabalho de Dubè (1999), corrigidos e adaptados para cada arranjo de plantio intermediário aos dois espaçamentos (10x4 m e 3,3x3 m) estudados por este autor. Os gastos na implantação ou na condução de cada espaçamento ou arranjo de plantio foram corrigidos de acordo com o número de plantas por hectare ou número de operações realizadas, conforme cada item em cada tratamento. Da mesma forma, para as culturas agrícolas foram estimadas as receitas e os custos conforme a área disponível nas entrelinhas do eucalipto, tomando-se como padrão o espaçamento 10x4 m, normalmente utilizado pela empresa.

Os produtos madeireiros utilizados para cálculo foram pré-determinados como toras de 2,2 m e diâmetro mínimo de 25 cm, toretes de 2,2 ms com até 20 cm de diâmetros, postes com 7 m e diâmetro mínimo da ponta de 14,5 cm e mourões com diâmetro mínimo de 6,5 cm e 2,2 m de comprimento, além da madeira fina como resíduo.

Na estimativa das receitas obtidas com a venda de madeira de eucalipto, foram utilizados os volumes por sortimento, calculados a partir dos dados da avaliação realizada aos 122 meses, para cada tratamento aplicado. Assim, diferente do trabalho de Dubè (1999), no qual foi feita uma estimativa de produção, os volumes e os preços finais dos produtos são reais.

Os dados de custo de Dubè (1999), que datavam de 1994, foram corrigidos para o ano de 2012, a uma taxa anual de 6% ao ano. De acordo com este autor, foi utilizado um valor fixo de custo da terra, calculado sobre o valor da terra, aplicando-se sobre ele a taxa de desconto anual. Este valor atualizado foi de R\$142,72, por ano de exploração.

No cálculo dos custos e das receitas agrícolas estimadas para os tratamentos que tinham entrelinhas de dimensões diferentes de 10 m de largura, assumiu-se que os custos e as receitas eram proporcionais à área livre disponível para estes cultivos. No caso das pastagens, esse problema não existe, pois, segundo Porfirio da Silva (2007), as gramíneas acabam cobrindo toda a área, mesmo nas linhas de eucalipto. Assim, assumiu-se que a produtividade da pastagem e, conseqüentemente, da produção bovina era a mesma em todos os tratamentos.

Para analisar a viabilidade econômica dos sistemas agroflorestais, foi utilizada a taxa de juros de 6,75% ao ano (taxa esta hoje ofertada por linhas de crédito para esse tipo de empreendimento), montado um fluxo de caixa com os valores adaptados e corrigidos para os respectivos tratamentos e datas e calculados os parâmetros econômicos de valor presente líquido (VPL) (8) e taxa interna de retorno (TIR) (9), conforme as fórmulas a seguir.

a) Valor presente líquido (VPL)

$$VPL = [\sum R_j(1+i)^{-j} - \sum C_j(1+i)^{-j}] \quad (8)$$

em que

R_j : receita no final do ano no período j considerado;

C_j : custo no final do ano no período j considerado;

j : período em anos;

i : taxa de desconto.

b) Taxa interna de retorno (TIR)

$$\sum R_j(1 + TIR)^{-j} = \sum C_j(1 + TIR)^{-j} \quad (9)$$

Termos descritos no item anterior.

Foi ainda calculado o valor presente líquido infinito (SILVA; FONTES, 2005) (10), para a comparação entre os melhores resultados dos sistemas agroflorestais estudados e o resultado financeiro encontrado para os espaçamentos adensados em 21 anos de exploração, de acordo com a seguinte expressão:

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (10)$$

em que

VPL : valor presente líquido (equação 8)

i : taxa de juros;

t : número de períodos de capitalização.

A estimativa dos volumes produzidos no segundo e no terceiro corte foi feita em proporção ao volume de madeira produzido, calculado aos 7 anos.

Assim, considerou-se que o segundo corte produziu 80% do primeiro e o terceiro corte, 83% do segundo.

No cálculo das receitas para a rotação de 21 anos, considerou-se que, no primeiro corte, o volume de madeira produzido foi vendido como 66,6% de mourões e 33,3% madeira fina; no segundo corte, 50% de mourões e 50% de madeira fina e, no terceiro corte, 33,3% de mourões e 66,6% de madeira fina, sendo assim computado o preço médio para cada corte.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância realizada para os parâmetros de crescimento avaliados, nas épocas de avaliação e respectivas interações, são apresentados na Tabela 3. Destaca-se, nesta Tabela, o resultado significativo para as interações entre idade das plantas e espaçamento em todos os parâmetros avaliados, como esperado para um povoamento em crescimento.

A partir destas análises, são apresentados os desdobramentos para cada parâmetro e discutidos os resultados em especial para a última avaliação.

Tabela 3 Quadrados médios e coeficientes de variação das análises de variância realizadas nos dados de diâmetro à altura do peito (DAP), altura média (H), volume de madeira com casca (V ind. e Vha), área basal (G ha), incremento médio e corrente anual em volume (IMA e ICA), em função de diferentes arranjos de plantio, em seis épocas de avaliação

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio								
		DAP	H	V ind.	V ha	G ha	ICA	IMA	DAPd	Hd
Arranjo	10	316,50958**	30,376**	0,44938**	33258,22025**	324,53926**	737,541053**	679,33718**	290,4974**	26,7268**
Bloco	4	3,693454	8,9022	0,012671	3264,27916	8,605015	110,922784	64,477072	1,373498	0,445597
Resíduo (a)	40	3,339397	6,80758	0,011030	2105,910511	6,955769	90,676524	41,833006	1,809576	1,989992
Época	5	137,27109**	999,99**	0,60159**	152274,35217**	325,01399**	16042,6682**	240,48269**	219,9325**	1304,744**
Resíduo (b)	20	0,094597	0,40496	0,000347	91,216919	0,481476	50,936678	0,874497	0,106823	0,3666
ÉpocaxArranjo	50	0,615512**	3,2769**	0,00728**	728,31216**	1,626527**	476,702697**	6,250801**	0,52637**	4,944517**
Resíduo ©	200	0,080600	0,46178	0,000358	88,949693	0,345157	60,872210	1,249852	0,110563	0,470329
CV a (%)		9,50	9,64	29,85	26,00	17,30	33,56	25,7	6,17	4,80
CV b (%)		1,60	2,35	5,30	5,41	4,55	25,15	3,71	1,50	2,06
CV c (%)		1,48	2,51	5,38	5,34	3,85	27,50	4,44	1,53	2,33

** Significativo, a 1%, pelo teste de F

5.1 Características de crescimento

5.1.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Na Tabela 4 são mostradas as médias de diâmetro (DAP) das plantas para cada tratamento, nas idades avaliadas. Pode-se observar que, aos 51 meses, já havia a definição das taxas de crescimento em diâmetro imposta pelos tratamentos. Assim, nesta idade, o tratamento 3,3x2 m já apresentava o menor diâmetro em função da área útil imposta pelo tratamento. Da mesma forma, o tratamento 10x4 m apresentou o maior diâmetro em todas as avaliações. Para os demais tratamentos foi observado o mesmo comportamento, com pequenas diferenças de agrupamento entre as avaliações, quando comparados aos da última avaliação, aos 122 meses.

Tabela 4 Diâmetro médio à altura do peito das plantas (DAP) de eucalipto, em função dos tratamentos e das idades

Tratamentos	Idade					
	51	64	77	88	103	122
	Diâmetro (cm)					
10x4	20,74 a	22,70 a	24,53 a	25,34 a	26,04 a	26,45 a
10x3	19,02 b	20,39 c	21,88 b	22,30 c	22,80 c	23,40 b
3x3+15	18,77 b	20,00 d	21,30 c	22,23 c	22,33 d	22,65 c
3x4+7+10	19,19 b	20,98 b	22,14 b	23,11 b	23,49 b	23,75 b
3x4+10	17,47 c	18,84 e	20,26 d	21,47 d	21,66 e	21,86 d
10x2	16,95 d	18,65 e	20,00 d	20,90 e	21,28 f	21,52 d
3x4+7	16,17 e	17,72 f	18,86 e	19,70 f	20,04 g	20,33 e
3x3+10	15,89 e	17,37 f	19,04 e	19,54 f	19,91 g	20,13 e
5x2	13,58 f	14,42 h	15,31 f	15,88 h	16,46 h	16,71 f
3,3x3	13,71 f	15,12 g	15,75 f	16,28 g	16,76 h	16,96 f
3,3x2	11,83 g	12,81 i	13,11 g	14,13 i	14,41 i	14,59 g

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Oliveira et al. (2009) encontraram efeito dos tratamentos no DAP aos 18 meses de idade, todavia, aos 27 meses, esses efeitos tornaram-se mais consistentes com a resposta esperada. Assim, aos 18 meses, o DAP dos tratamentos 10x4 m e 3,3x3 m não diferiam ainda, o que já ocorria aos 27 meses. Aos 38 meses, os valores de DAP diferiam entre os tratamentos 10x4 m e 10x3 m, já mostrando a competição entre plantas, mesmo nos espaçamentos mais amplos.

No Gráfico 1 estão representados os diâmetros médios de crescimento encontrados aos 122 meses de idade, sendo os valores exibidos na Tabela 4. Como esperado, observa-se que os diâmetros médios se mantêm diretamente relacionados à área útil das plantas, comportamento também relatado por Oliveira et al. (2009).

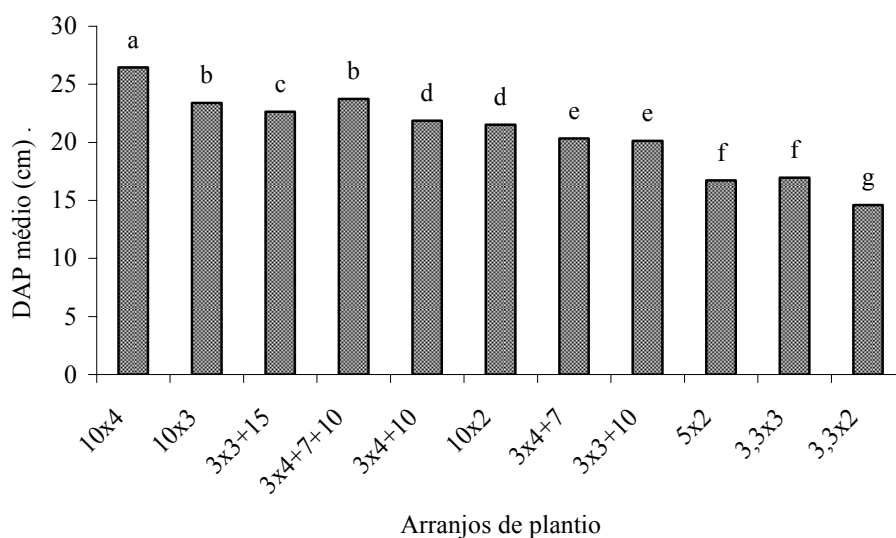


Gráfico 1 Representação gráfica do crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) médio, em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Para Balloni e Simões (1980), o aumento do diâmetro (DAP) em função do aumento do espaçamento é tanto maior quanto maior a área útil por planta e a idade do povoamento, dentro de limites razoáveis. Exceção a esse comportamento foi observada no arranjo $(3 \times 4)+7+10$, composto de linhas duplas e simples que, apesar de apresentar uma população de 375 plantas por hectare, foi equivalente ao arranjo 10×3 com 333 plantas por hectare e superior aos arranjos $(3 \times 4)+10$ (385 plantas/ha) e $(3 \times 3)+15$ (370 plantas.ha⁻¹), que possuem populações semelhantes.

Ainda nesta figura, pode-se comparar o desempenho em DAP dos arranjos $3 \times 4+7$, $3 \times 3+10$ e 10×2 e entre os arranjos 5×2 e $3,3 \times 3$, que apresentam a mesma área útil por planta, mas tiveram comportamentos diferenciados. Nos arranjos com fileira dupla, o comportamento foi o mesmo, com os espaçamentos na linha sendo compensado pelo espaçamento das entrelinhas. Todavia, o arranjo 10×2 foi superior aos demais, apontando para uma menor competição entre as plantas no arranjo com linhas simples, apesar do reduzido espaçamento entre plantas, evidenciando o comportamento diferente entre os arranjos duplos e simples.

Para os arranjos 5×2 e $3,3 \times 3$, o comportamento foi o mesmo, apontando uma compensação do espaçamento nas entrelinhas com o espaçamento na linha. Assim, neste caso, é possível afirmar que 1 m reduzido na linha é compensado por 2 m espaçados na entrelinha nos arranjos simples, enquanto nos arranjos duplos, 1 m na linha é proporcional a 3 m nas entrelinhas.

5.1.2 Diâmetro dominante

Na Tabela 5 são apresentados os valores de diâmetro dominante das plantas, dentro de cada arranjo estrutural nas idades avaliadas.

Percebe-se, pelos dados da Tabela 5, que o DAP dominante apresentou o mesmo comportamento encontrado para o DAP médio. Todavia, a partir dos 64 meses, o tratamento (3 x 3) + 15 foi estatisticamente igual aos tratamentos 3x4+10 e 10x2, com populações maiores.

Este comportamento evidenciou a maior competição entre plantas no arranjo duplo com 3 m entre plantas e a incapacidade de compensação pelo maior espaçamento nas entrelinhas.

Tabela 5 Diâmetro dominante à altura do peito das plantas de eucalipto, em função dos tratamentos e das idades

Tratamentos	Idade (meses)											
	51	64	77	88	103	122						
	Diâmetro dominante (cm)											
10x4	22,21	a	24,47	a	26,48	a	27,61	a	28,30	a	28,84	a
10x3	21,08	b	22,91	b	24,68	b	25,48	b	25,89	b	26,63	b
3x3+15	20,15	c	21,73	c	23,18	c	24,22	c	24,37	c	25,10	c
3x4+7+10	21,14	b	23,46	b	24,77	b	25,97	b	26,45	b	26,80	b
3x4+10	19,24	d	21,14	c	22,63	c	24,07	c	24,31	c	24,85	c
10x2	19,28	d	21,63	c	23,23	c	23,30	d	24,89	c	25,06	c
3x4+7	18,31	e	19,87	d	21,48	d	22,66	d	22,92	d	23,33	d
3x3+10	18,17	e	19,78	d	21,81	d	22,44	d	23,14	d	23,33	d
5x2	15,33	f	16,53	e	17,52	f	18,53	e	19,23	e	19,79	e
3,3x3	15,81	f	17,32	e	18,51	e	19,21	e	19,88	e	20,14	e
3,3x2	13,71	g	15,03	f	16,13	g	17,30	f	17,77	f	18,13	f

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

5.1.3 Altura de plantas

Na Tabela 6 estão representadas as alturas médias das plantas nas idades avaliadas. Pode-se observar que a altura das plantas foi influenciada pelos arranjos espaciais adotados, entretanto, sem um padrão consistente.

Ao longo do tempo, dentro do período avaliado, percebe-se uma tendência de o espaçamento 3,3x2 m, o mais adensado testado, apresentar

sempre as menores alturas de plantas. Berger et al. (2002) relataram que plantios mais adensados tendem a apresentar um crescimento mais rápido em altura devido à maior competição e busca por luz, ao contrário de maiores espaçamentos. Entretanto, esse comportamento também é dependente da idade de avaliação. Magalhães et al. (2007) não encontraram diferença na altura das plantas de eucalipto arranjadas em espaçamentos que variaram de 3x2 m a 6x4 m.

Tabela 6 Valores médios de altura de plantas de eucalipto, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades

Tratamento	Idade (meses)					
	51	64	77	88	103	122
	Altura de plantas (m)					
10x4	21,45	a 23,32	b 29,54	a 30,65	a 30,44	c 32,42
10x3	21,85	a 24,37	a 28,53	b 29,45	b 29,34	d 31,32
3x3+15	22,06	a 23,07	b 27,80	c 30,83	a 30,91	c 31,10
3x4+7+10	22,54	a 24,18	a 28,75	b 30,95	a 32,18	a 33,31
3x4+10	20,48	b 21,81	c 27,68	c 30,36	a 30,80	c 31,00
10x2	21,46	b 23,36	b 27,30	c 31,12	a 31,41	a 31,78
3x4+7	20,93	c 22,80	b 25,03	d 28,14	c 30,70	c 30,93
3x3+10	20,19	c 21,20	c 25,28	d 30,42	a 30,67	c 30,60
5x2	20,93	c 21,56	c 27,06	c 29,69	b 29,92	d 29,73
3,3x3	20,17	c 23,85	a 24,98	d 29,88	b 31,22	b 31,11
3,3x2	19,27	d 21,37	c 24,18	e 28,11	c 28,26	e 28,33

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

O comportamento da altura de plantas na última idade avaliada, aos 122 meses (Gráfico 2), confirma que o espaçamento mais adensado apresentou a menor altura de planta, seguido pelo arranjo 5x2, sinalizando uma maior concorrência entre as plantas no espaçamento de 2 m na linha de plantio. O

mesmo não ocorreu no arranjo 10x2, em que, provavelmente, o espaçamento nas entrelinhas compensou a concorrência ou houve interferência de fatores não controlados pelo delineamento experimental, conforme será mostrado na avaliação da altura dominante. O arranjo 10x2 teve comportamento similar ao dos demais arranjos de mesma área útil, com os valores variando entre 30,6 m para o arranjo 3x3+10 e 31,8 m no 10x2.

A maior altura de plantas na última avaliação foi proporcionada pelo arranjo (3x4)+7+10, composto de linhas duplas e simples, que atingiu a altura de 33,3 m, seguido pelo arranjo 10x4, que atingiu a altura média de 32,4 m.

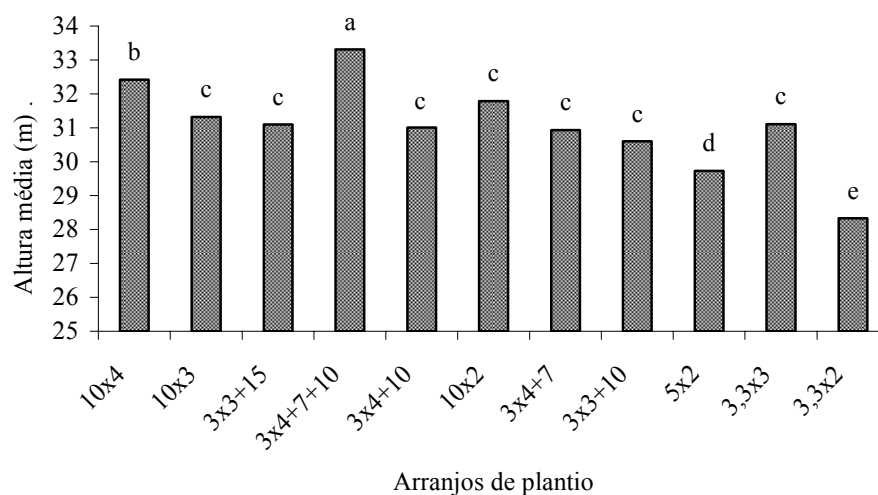


Gráfico 2 Representação gráfica do crescimento, em altura média, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Oliveira et al. (2009) não encontraram relação conclusiva entre espaçamento e altura de plantas de eucalipto. Aos 38 meses de idade, os espaçamentos mais densos resultaram em alturas maiores e, aos 51 meses, os espaçamentos com área útil em torno de 30 m² foram superiores, permanecendo até a avaliação dos 122 meses de idade. Assim, num primeiro momento, o aumento da densidade de plantio favorece o crescimento em altura, mas, com o tempo, as maiores áreas úteis das plantas permitem crescimentos maiores nessa variável.

Segundo Bernardo (1995), nas idades mais avançadas, o crescimento médio, em altura, dos espaçamentos mais adensados é influenciado pelo maior número de árvores dominadas ou mortas. Dessa forma, o comportamento apresentado pela altura média pode estar influenciado por árvores dominadas no povoamento. Para Balloni e Simões (1980), a influência do espaçamento na altura é controversa, com casos em que a altura média aumenta com o espaçamento e, em outros, se comporta ao contrário.

5.1.4 Altura dominante de plantas

Na Tabela 7 são apresentados os dados de altura dominante, em função dos tratamentos e da idade das plantas. Nota-se, pelos dados da Tabela, que, em todas as épocas avaliadas, a altura dominante foi superior no tratamento 3x4+7+10. Com a mesma área útil, foi possível observar também diferenças na altura de plantas dominantes, indicando uma provável diferença de qualidade de sítio, apesar do delineamento experimental.

O crescimento médio, em altura, das 100 maiores árvores por hectare, aos 122 meses, está representado no Gráfico 3. Nota-se que existem, na área de estudo, pelo menos três classes de sítio, que influenciaram as análises de alguns efeitos dos tratamentos. Assim, na comparação dos efeitos do arranjo de plantio

entre os tratamentos 3x4+7+10, com os tratamentos 3x3+15 e 3x4+10, e entre os tratamentos 10x2 e 3x4+7,3x3+10 nota-se uma diferenciação, em termos de índice de sítio.

Tabela 7 Valores médios de altura dominante de plantas de eucalipto em função dos diferentes arranjos estruturais e idades

Tratamentos	Idade (meses)					
	51	64	77	88	103	122
	Altura dominante de plantas (m)					
10x4	22,84 b	24,57 b	30,96 a	32,27 c	31,93 c	33,90 c
10x3	23,90 a	25,92 a	31,26 a	32,24 c	32,13 c	33,68 c
3x3+15	23,42 a	24,86 b	30,05 b	34,41 a	33,44 b	33,90 c
3x4+7+10	24,02 a	26,31 a	31,10 a	33,71 a	35,40 a	36,20 a
3x4+10	22,11 b	24,09 c	29,90 b	32,85 b	33,54 b	33,71 c
10x2	22,64 b	25,56 a	30,12 b	33,74 a	34,12 b	35,23 b
3x4+7	22,46 b	23,84 c	26,91 d	30,52 d	33,52 b	33,42 c
3x3+10	21,95 b	22,59 d	27,24 d	33,32 b	33,47 b	33,39 c
5x2	22,14 b	23,27 d	28,91 c	31,90 c	32,07 c	32,26 d
3,3x3	21,96 b	25,60 a	28,48 c	32,80 b	34,93 a	34,79 b
3,3x2	20,82 c	23,55 c	24,55 e	31,72 c	33,25 b	33,75 c

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Na comparação entre altura média e altura dominante na última avaliação (Gráficos 2 e 3), observa-se que os maiores valores de altura de planta foram apresentados pelo arranjo (3x4)+7+10, com 33,31 e 36,2 m, respectivamente. Assim, pode-se dizer que a associação de linhas duplas e simples deste arranjo reuniu os pontos positivos entre o adensamento e a maior área útil por planta, proporcionando as maiores alturas de plantas.

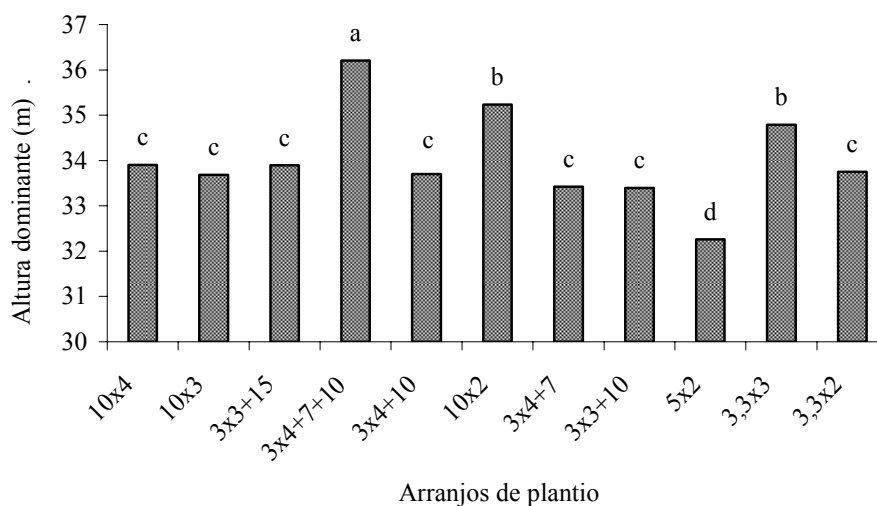


Gráfico 3 Representação gráfica do crescimento em altura dominante (Hd), em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Ainda no Gráfico 3 nota-se que os arranjos 10x2 e 3,3x3 se destacaram como a segunda maior altura dominante, com valores de 35,2 e 34,8 m, respectivamente. A menor altura dominante encontrada foi proporcionada pelo arranjo 5x2, sem um padrão definido de comportamento, uma vez que espaçamentos mais reduzidos obtiveram alturas maiores que este, como o caso dos arranjos 3,3x2 m e 3,3x3 m.

Em um experimento apresentado por Balloni e Simões (1980), verificou-se que a altura média das plantas diminuiu com o a redução do espaçamento, mas a altura média de 15% das árvores dominantes foi a mesma, diferente do observado neste trabalho, em que a altura dominante variou entre os tratamentos. Entretanto, é preciso lembrar que o critério de medir as cinco maiores árvores na parcela (100 plantas por hectare), utilizado neste trabalho, gera uma distorção, pois as parcelas de espaçamento maior têm apenas 10 plantas, enquanto as de

espaçamento mais adensado chegam a ter 60 plantas na área. Assim, como as áreas eram as mesmas, os espaçamentos maiores tiveram um percentual de amostragem muito maior, chegando a 50% das plantas, no caso do tratamento 10x4 m.

5.1.5 Área basal

A área basal do experimento variou de 13,75 a 25,09 m².ha⁻¹ entre os arranjos (Tabela 8) e foi proporcional à densidade populacional, em todas as idades avaliadas.

Tabela 8 Valores médios de área basal de plantas de eucalipto, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades

Tratamentos	Idade (meses)					
	51	64	77	88	103	122
	Área basal (m ² ha ⁻¹)					
10x4	8,46 f	10,13 g	11,82 g	12,62 g	13,33 g	13,76 f
10x3	9,48 e	10,90 g	12,54 g	13,04 g	13,63 g	14,35 e
3x3+15	10,25 d	11,64 f	13,19 f	14,37 f	14,50 f	14,91 e
3x4+7+10	10,86 c	12,98 d	14,46 e	15,75 e	16,28 e	16,64 d
3x4+10	9,23 e	10,75 g	12,43 g	13,94 f	14,20 f	14,47 e
10x2	10,95 c	13,15 d	15,75 d	17,21 d	17,84 d	18,24 c
3x4+7	10,27 d	12,34 e	13,98 e	15,25 e	15,78 e	16,24 d
3x3+10	10,17 d	12,16 e	14,60 e	15,38 e	15,96 e	16,33 d
5x2	14,52 b	16,36 c	18,43 c	19,83 c	21,29 c	21,95 b
3,3x3	14,80 b	17,99 b	19,51 b	20,88 b	22,12 b	22,66 b
3,3x2	16,50 a	19,37 a	20,34 a	23,55 a	24,50 a	25,09 a

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Exceções a esse comportamento podem ser feitas com relação aos arranjos (3x4)+7+10 e 10x2, no último ano de avaliação. Analisando-se o Gráfico 4, nota-se a superioridade do arranjo (3x4)+7+10 em relação aos

arranjos 3x3+15, 3x4+10 e do 10x2 em relação aos arranjos 3x4+7 e 3x3+10, respectivamente, na mesma densidade populacional. Em ambos os casos, é possível constatar que a superioridade observada nestes arranjos deve-se à presença de linhas simples, em relação aos arranjos duplos.

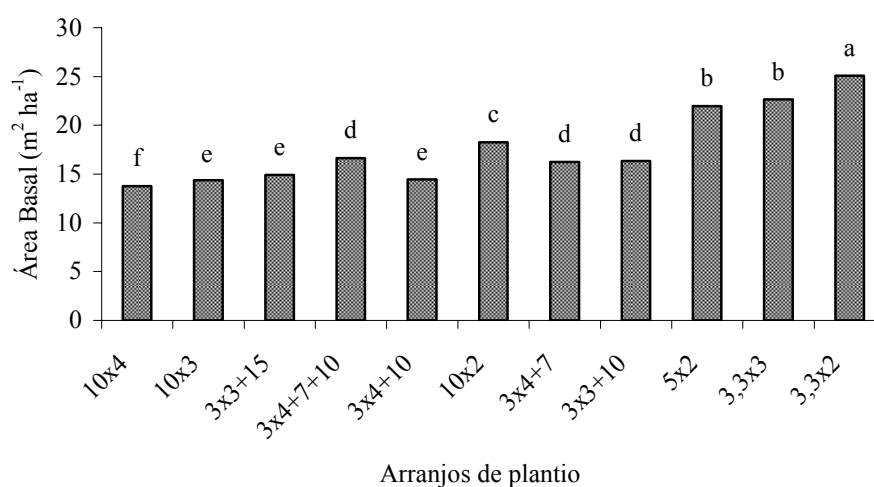


Gráfico 4 Representação gráfica da área basal do povoamento, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Em avaliações feitas aos 27 meses após o plantio, Oliveira et al. (2009) já haviam detectado esse comportamento. Nesta idade, pôde-se notar que, no arranjo 10x2, as plantas apresentaram maior desenvolvimento que nos outros arranjos com linhas duplas e mesma área útil por planta.

Reafirmando o maior desenvolvimento das linhas simples, ainda no Gráfico 4, nota-se a igualdade de valores obtida nos arranjos 10x3 e (3x3)+15, em que claramente se vê que o maior número de plantas do arranjo (3x3)+15 foi superado pelo maior desenvolvimento apresentado pelo arranjo 10x3. Dessa

forma, em plantios em fileiras duplas com a finalidade de obter madeira para serraria são necessários o acompanhamento do crescimento e a realização de desbastes.

5.1.6 Volume de madeira

Os dados de crescimento em volume por hectare calculado para cada arranjo estrutural nas idades avaliadas são apresentados na Tabela 9. Nota-se, nesta tabela, que os volumes de madeira se diferenciaram entre os tratamentos, a partir da avaliação realizada aos 88 meses, quando os volumes relativos ao potencial de cada tratamento foram definidos.

Tabela 9 Valores médios de volume de madeira de eucalipto com casca, em função dos diferentes arranjos estruturais e idades

Tratamentos	Idade (meses)											
	51	64	77	88	103	122						
	Volume (m ³ ha ⁻¹)											
10x4	76,48	c	99,49	e	147,05	c	163,03	g	171,00	g	187,75	f
10x3	87,37	c	111,80	d	150,99	c	162,19	g	168,57	g	189,46	f
3x3+15	94,96	b	112,85	d	154,07	c	186,08	f	188,27	f	194,82	f
3x4+7+10	103,09	b	132,13	c	175,02	b	205,09	e	220,48	d	233,09	d
3x4+10	79,61	c	98,78	e	144,63	c	177,98	f	183,82	f	188,85	f
10x2	102,20	b	134,87	c	181,59	b	226,04	d	236,63	c	244,91	c
3x4+7	90,39	c	118,23	d	147,17	c	180,38	f	203,83	e	211,37	e
3x3+10	86,57	c	108,67	d	155,39	c	196,87	e	206,10	e	210,40	e
5x2	127,91	a	178,53	a	209,84	a	247,56	c	267,89	b	274,39	b
3,3x3	125,60	a	180,36	a	205,06	a	262,63	b	291,25	a	297,19	a
3,3x2	133,61	a	173,93	a	204,38	a	278,17	a	290,77	a	298,58	a

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Assim, aos 77 meses após o plantio, os tratamentos 10x4, 10x3, 3x3+15 e 3x4+7+10 ainda não haviam se diferenciado, bem como os tratamentos 3,3x2, 3,3x3 e 5x2.

Aos 122 meses do plantio, os maiores volumes de madeira foram produzidos pelos arranjos mais estreitos, sendo os maiores valores observados nos arranjos 3,3x2 e 3,3x3, seguidos pelo arranjo 5x2, com valores de 298,58; 297,19 e 274,39 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9).

Comparando-se os Gráficos 4 e 5, nota-se a semelhança de comportamento entre a área basal e a produção de madeira, reforçando que, nesta idade, a produção, em volume, ainda está diretamente relacionada à densidade de plantio e, conseqüentemente, à área basal.

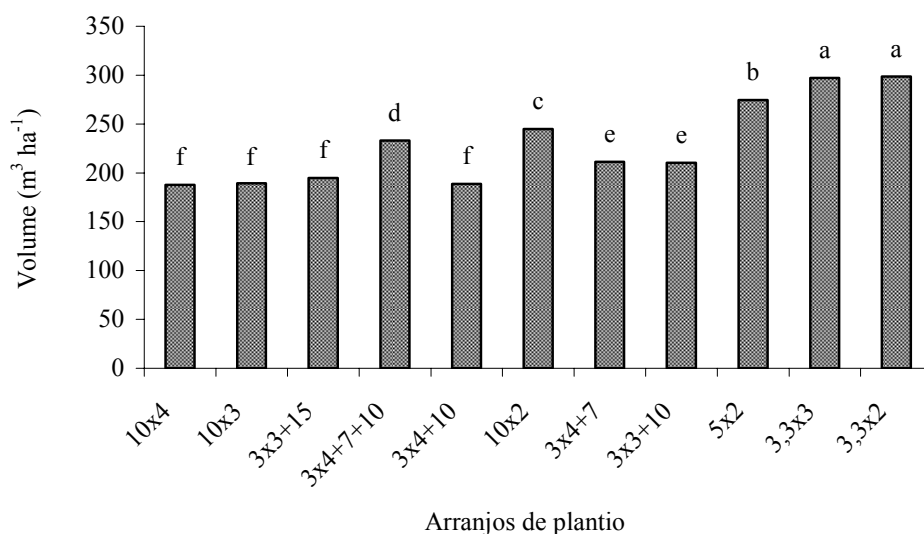


Gráfico 5 Representação gráfica da produção de madeira com casca, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas diferem entre as colunas, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Entretanto, entre os arranjos menos densos e com densidade de plantio semelhante, pode-se perceber o impacto do maior crescimento das plantas individuais em volume de madeira. Assim, pode-se observar, no Gráfico 5, que, no arranjo 10x4 (250 plantas ha⁻¹), a produção de madeira foi a mesma que a dos arranjos 10x3; 3x3+15 e 3x4+10, com densidades de plantio de 333, 370 e 385 plantas por hectare, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado entre os espaçamentos 3,3x2 e 3,3x3, nos quais a menor densidade de plantio já foi compensada pelo maior crescimento das plantas.

Oliveira et al. (2009) encontraram produção de madeira superior a 90 m³.ha⁻¹, aos 4 anos de plantio, nos espaçamentos 10x3, 10x2, (3x4)+7, (3x3)+15 e (3x4)+7+10, maior que a produção obtida nesta mesma idade para o tratamento 10x4, com 72,84 m³.ha⁻¹, considerado padrão nestes sistemas agroflorestais. Assim, seis anos após estas avaliações, as produtividades do arranjo 10x4 já estão iguais às dos arranjos 10x3; 3x3+15 e 3x4+10, mas inferiores às dos arranjos (3x4)+7, (3x3)+10 e (3x4)+7+10.

Para fins de comparação, a diferença entre os arranjos (3x4)+7 e 10x4 foi, aos 51 meses, de 25,54% e caiu, aos 122 meses, para 12,58% (Tabela 9). Quanto ao arranjo (3x4)+7+10, a diferença percentual caiu de 34,79% para 24,15%. Em relação aos espaçamentos mais estreitos, verificou-se que a redução das diferenças foi menos acentuada, com os percentuais reduzindo de 74,58% para 59,03%, no espaçamento 3,3x2 e de 67,24% para 46,14%, no espaçamento 5x2. O arranjo 10x2 praticamente manteve a diferença constante, com cerca de 30% a mais de produção ao longo do tempo.

5.1.7 Incremento médio anual e corrente anual, em volume de madeira

Os valores médios de crescimento médio e corrente anual, em volume de madeira com casca, na avaliação de 122 meses, proporcionados pelos arranjos de plantio, estão apresentados na Tabela 10 e no Gráfico 6.

Tabela 10 Valores de incremento médio anual (IMAVol) e incremento corrente anual de volume de madeira (ICA Vol); incremento médio anual (IMA Dap), incremento corrente anual em diâmetro à altura do peito (ICA Dap) e incremento médio anual (IMA G) e incremento corrente anual (ICA G) da área basal por área, em função de diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses

Arranjos de plantio	IMA		ICA		IMA		ICA		IMA		ICA	
	Vol		Vol		Dap		Dap		G		G	
	m ³ ha ⁻¹				cm				m ² ha ⁻¹			
10x4	18,47	c	10,58	a	2,60	a	0,26	a	1,35	f	0,2	a
10x3	18,64	c	13,20	a	2,40	b	0,38	a	1,53	e	1,0	a
(3x3)+15	19,16	c	4,14	a	2,23	c	0,20	a	1,47	e	0,2	a
(3x4)+7+10	22,93	b	7,96	a	2,34	b	0,16	a	1,64	d	0,2	a
(3x4)+10	18,58	c	6,53	a	2,15	d	0,25	a	1,42	f	0,6	a
10x2	24,09	b	5,23	a	2,12	d	0,15	a	1,79	c	0,4	a
(3x4)+7	20,79	c	4,76	a	2,00	e	0,18	a	1,60	d	0,6	a
(3x3)+10	20,70	c	2,72	a	1,98	e	0,14	a	1,61	d	0,2	a
5x2	26,99	a	4,11	a	1,64	f	0,38	a	2,16	b	0,4	a
3,3x3	29,23	a	4,20	a	1,67	f	0,13	a	2,23	b	0,6	a
3,3x2	29,37	a	4,93	a	1,43	g	0,11	a	2,47	a	0,8	a

Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Nesta idade foi possível separar os arranjos estruturais em três grupos distintos. O primeiro grupo, formado com os três arranjos mais estreitos de até 10 m² de área útil por planta, obteve a maior produção média de madeira, com os valores variando entre 29,37 e 26,99 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 10), respectivamente para os arranjos 3,3x2 m e 5x2 m. Os menores valores foram encontrados nos tratamentos com área útil superior a 30 m² por planta ou superior a 19 m² por

planta com linhas duplas, ou seja, excluindo-se os arranjos 10x2 e (3x4)+7+10, de crescimento intermediário.

É importante observar, neste comportamento, a diferenciação ocorrida entre os tratamentos com linhas duplas e simples. Assim, arranjos espaciais com linhas simples tenderam a crescer mais em relação aos arranjos com linhas duplas, quando possuíam populações semelhantes, como é o caso dos arranjos 10x2; (3x4)+7 e (3x3)+10. Nesses arranjos, apesar da mesma área útil por planta, houve uma diferenciação positiva para o arranjo de linhas simples 10x2. Nos arranjos 10x3, (3x3)+15 e (3x4)+10, nota-se um crescimento em volume com a mesma tendência, apesar da menor população do arranjo 10x3, evidenciando a superioridade dos arranjos simples.

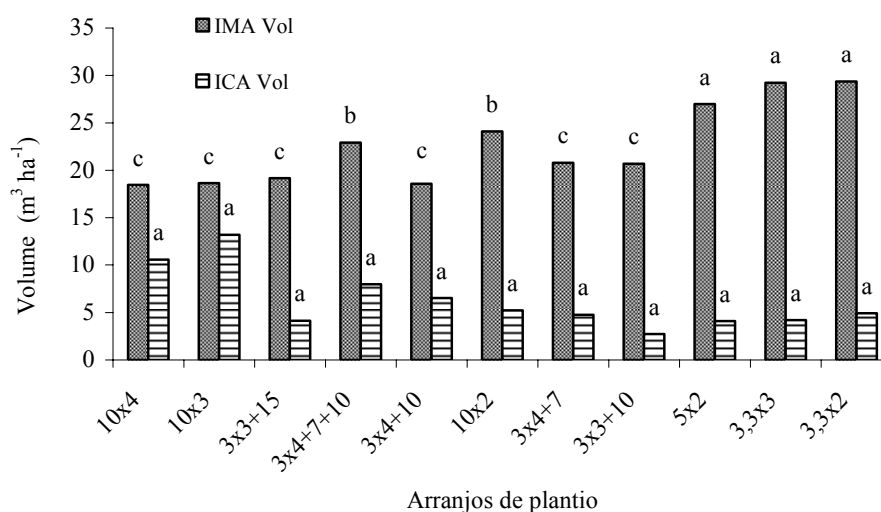


Gráfico 6 Representação gráfica do incremento médio e corrente anual de madeira com casca, em função dos diferentes arranjos de plantio aos 122 meses de idade (Letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Dentre os arranjos mais amplos, destacaram-se os tratamentos 10x2 e (3x4)+7+10, que obtiveram crescimento anual de madeira de 24,09 e 22,93 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente (Tabela 10).

Quando se observa o ICA em volume de madeira por hectare no Gráfico 6, chama a atenção a estagnação do crescimento apresentado aos 122 meses de idade, apesar da grande diferença populacional existente entre os arranjos de plantio. Esperava-se que os arranjos com maiores áreas úteis por planta se diferenciasssem dos tratamentos mais estreitos, prolongando o período de crescimento, conforme concluíram Kruschewsky et al. (2007) e Soares et al. (2003), o que não foi observado neste caso. Dessa forma, não foi encontrada diferença estatística na taxa de crescimento anual, apesar da amplitude de valores observada na Tabela 10. Os valores variaram de 13,2 a 2,72 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente nos arranjos 10x3 e 3x3+10.

Deve-se notar também que os menores ICAs foram obtidos com os arranjos com linhas duplas e 3 m entre plantas, chegando a apresentar ICAs menores que os arranjos mais adensados, provavelmente promovido pela maior competição entre plantas.

5.1.8 Incremento médio anual e corrente anual em DAP

No Gráfico 7 está representado o crescimento, em DAP, ocorrido aos 122 meses após o plantio. O incremento em DAP foi diretamente proporcional ao maior tamanho da área útil por planta, conforme Smith e Strub (1991), dentre outros. Entretanto, neste caso também foi possível notar o efeito da competição ocorrida entre as fileiras duplas no desenvolvimento individual das plantas. Assim, analisando-se os valores de DAP entre os arranjos 10x2, 3x4+7 e 3x3+10 (Tabela 10), percebe-se o menor desenvolvimento das fileiras duplas, mesmo com o reduzido espaçamento entre plantas do arranjo 10x2.

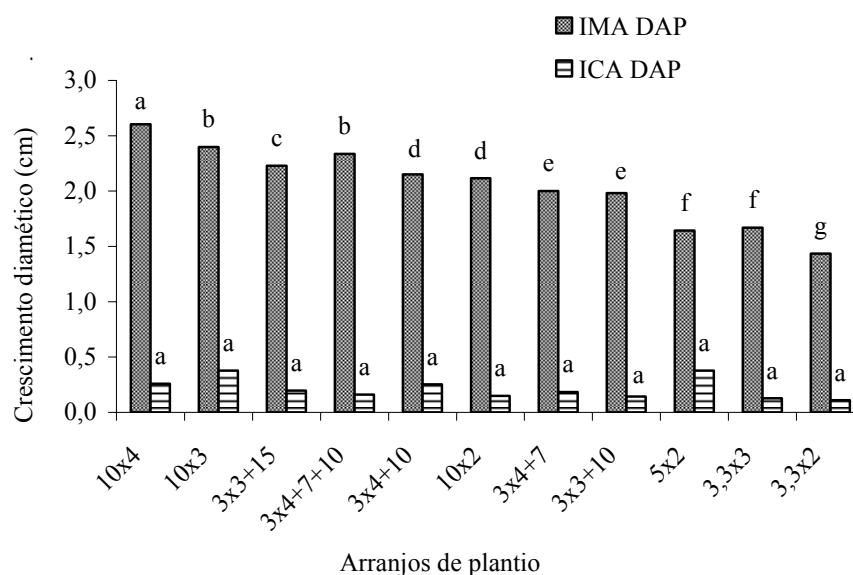


Gráfico 7 Representação gráfica do incremento médio e corrente anual em diâmetro à altura do peito (DAP), em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade (letras minúsculas distintas entre as colunas diferem, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância)

Quanto ao crescimento dentro do ano de avaliação (ICA DAP), percebe-se a mesma tendência descrita para volume das plantas, com o desenvolvimento em diâmetro já estagnado em todos os tratamentos, conforme o teste estatístico aplicado. Assim, aos 122 meses, não foram encontradas diferenças de crescimento, em DAP, entre os arranjos de plantio, ainda que as diferenças de área útil entre plantas fossem de até 34 m².

Ainda na Tabela 10, nota-se que o incremento em área basal encontra-se também em processo de estagnação, comportando-se da mesma forma que o diâmetro. O teste de médias realizado nos dados de crescimento médio em área basal (IMA G) destacou os arranjos com linhas simples ou compostos

(3x4+7+10) dos demais arranjos com mesmo número de plantas. Assim, o tratamento 10x2 foi superior aos tratamentos 3x4+7 e 3x3+10 e o tratamento 10x3 teve seu IMA em área basal igualado ao tratamento 3x3+15, com maior número de plantas.

5.2 Caracterização da distribuição diamétrica

No Gráfico 8 e nas Tabelas 11 e 12 apresenta-se o número de árvores, em cada classe diamétrica, encontradas nos diferentes arranjos espaciais, aos 122 meses de plantio.

A análise do Gráfico 8 revela a grande diferença existente entre os arranjos de plantio, no que se refere ao número de plantas por área e o número absoluto de plantas em cada classe diamétrica. Assim, apesar de alguns arranjos terem apresentado um DAP médio maior, a análise da distribuição diamétrica destes tratamentos revelou situações em que o maior número de plantas com diâmetro superior foi encontrado no arranjo mais estreito, como pode ser visto para os arranjos 3,3x2 e 3,3x3. Neste caso, o maior número de plantas da classe 15 a 20 cm foi encontrado no espaçamento 3,3x2, enquanto o maior número de plantas na classe diamétrica de 15 a 20 cm, imediatamente abaixo, foi obtido no espaçamento 3,3x3 cm.

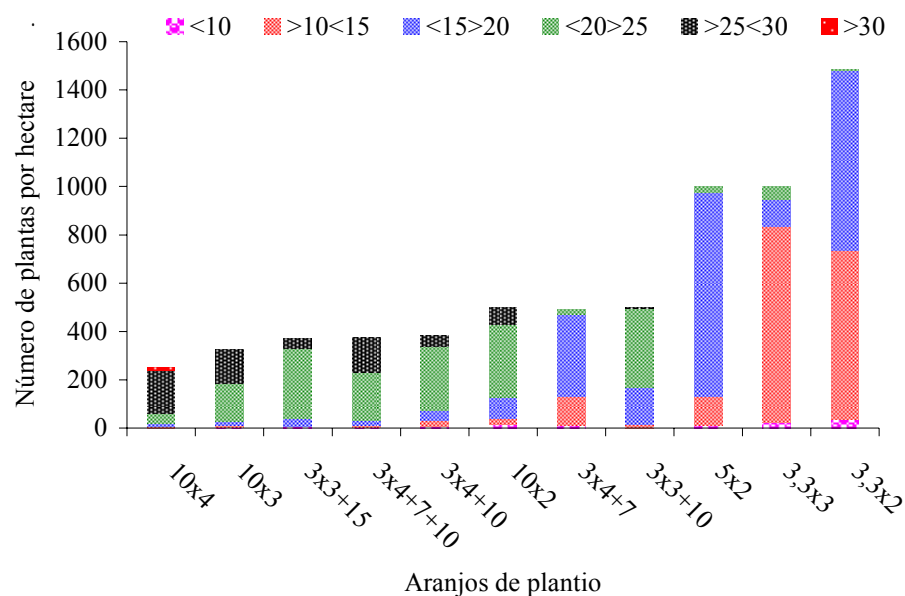


Gráfico 8 Representação gráfica do número de plantas por hectare e respectiva distribuição diamétrica, em função dos diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses de idade

Dessa forma, pelos dados da Tabela 11 e do Gráfico 8 constata-se que o arranjo 3,3x2, apesar do DAP médio de 14,6 cm, menor estatisticamente que os 17 cm encontrados no arranjo 3,3x3, apresentou maior número de plantas da classe diamétrica entre 15 e 20 cm de DAP. Essa tendência pode ser explicada pelo maior número de plantas neste arranjo e, assim, maior probabilidade da ocorrência de plantas dominantes e dominadas que propiciariam a ocorrência de maior número absoluto de plantas neste referido diâmetro. Todavia, é importante mostrar que o arranjo 3,3x3 participou de uma classe diamétrica acima do arranjo 3,3x2, com 55 plantas registradas na classe diamétrica compreendida entre 20 e 25 cm.

Tabela 11 DAP médio, desvio padrão e número de indivíduos por hectare nas classes diamétricas, em função dos arranjos de plantio 3x3+15, 3x4+10, 10x2, 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3x3 e 3x2, na idade de 122 meses

Arranjo	Classes diamétricas														
	< 10			> 10 < 15			< 15 > 20			< 20 > 25			> 25 < 30		
	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.
3x3+15	6,21	-	5	-	-	-	18,9	1,03	35	22,9	0,73	291	26,2	0,79	39
3x4+10	8,75	-	5	12,7	1,36	29	18,3	1,25	39	22,9	1,38	265	25,9	0,84	48
10x2	8,50	1,19	15	14,1	0,96	25	18,5	1,48	85	22,6	1,26	305	25,9	0,63	70
3x4+7	6,75	1,26	10	12,3	2,50	10	17,8	1,65	120	21,8	1,05	340	25,6	0,57	20
3x3+10	7,23	3,87	10	13,4	1,67	15	18,2	0,94	154	21,7	0,75	328	25,2	-	5
5x2	6,35	3,26	10	13,6	1,07	120	17,6	1,26	845	21,1	1,10	25	-	-	-
3,3x3	7,99	2,1	25	13,5	1,32	110	17,6	1,32	802	20,8	0,87	55	-	-	-
3,3x2	7,06	2,07	36	13,3	1,27	700	16,4	0,96	745	21,9	0,73	5	-	-	-

Tabela 12 DAP médio, desvio padrão e número de indivíduos por hectare nas classes diamétricas, em função dos arranjos de plantio 10 x4, 10x3, 3x4+7+10, na idade de 122 meses

Arranjo	Classes diamétricas														
	>10<15			<15>20			<20>25			>25<30			>30		
	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.	Média (cm)	Desv. pad.	Nº ind.
10x4	14,5	-	5	18,1	0,51	15	23,4	1,55	40	27,9	1,25	180	31,7	2,21	10
10x3	13,6	-	4	18,4	1,47	18	23,6	0,90	160	26,4	0,95	138	-	-	-
3x4+7+10	12,8	0,32	8	18,8	1,24	21	23,2	1,39	196	26,5	0,95	146	-	-	-

A comparação entre os arranjos de mesma densidade populacional revela que os arranjos influenciaram o desenvolvimento diamétrico das plantas. Assim, arranjos com a mesma área útil resultaram em plantas com classes diamétricas diferentes, como é o caso dos arranjos 5x2 e 3,3x3 que nesta idade possuíam a mesma área basal, mesmo diâmetro médio e dominante, mas se comportaram de maneira distinta, no que se refere à distribuição diamétrica das plantas (Gráfico 8). Na Tabela 11 pode-se observar que o arranjo 3,3x3 teve apenas 110 plantas por hectare com DAP entre 10 e 15 cm, enquanto no arranjo 5x2 obtiveram-se 845 plantas.

Na comparação dos arranjos 10x2, 3x4+7 e 3x3+10 (Tabela 11), destaca-se o comportamento do arranjo com linhas simples 10x2, com maiores quantidades de plantas na classe diamétrica de 25 e 30 cm de DAP. O arranjo 3x4+7 participou desta classe diamétrica com 20 indivíduos, o arranjo 3x3+10 alcançou apenas 5 plantas, enquanto o 10x2 teve 70 plantas por hectare na classe de 25 a 30 cm de DAP. Na classe imediatamente abaixo, ou seja, de 20 a 25 cm, o maior número de plantas foi do arranjo 3x4+7, com 340 plantas, seguido pelo arranjo 3x3+10, com 328 plantas e o arranjo 10x2, apresentando 305 plantas na classe diamétrica. É importante salientar que estes arranjos proporcionaram, em relação aos demais arranjos testados, o maior número de plantas na classe diamétrica de 20 e 25 cm.

Os dados do Gráfico 8 e das Tabelas 11 e 12 e permitem, ainda, a comparação entre os arranjos 3x3+15, 3x4+7+10 e 3x4+10. Neste grupo também foi observado o mesmo comportamento anteriormente descrito, com o arranjo 3x4+7+10 apresentando 146 plantas com diâmetro de 25 a 30 cm (Tabela 12), número influenciado pelas linhas simples que compõem este arranjo. Com relação aos arranjos 3x3+15 e 3x4+10, eles se comportaram de maneira muito semelhante, com pequenas diferenças nas classes de diâmetro 20 a 25 cm, nas quais o arranjo 3x3+15 teve 26 indivíduos a mais. Outra pequena

diferença apareceu na classe de diâmetro de 10 a 15 cm, em que o arranjo 3x4+10 apresentou 39 plantas, enquanto o outro arranjo não possuía plantas neste padrão.

Essas observações permitem inferir que os espaçamentos com linhas duplas podem ser empregados para a produção de madeira de maior diâmetro, mas levando-se em consideração que as linhas duplas acarretarão em uma determinada competição, que será projetada no crescimento do produto final pretendido. Neste caso, pode-se notar a redução de diâmetro ocorrida entre os arranjos 10x2, 3x3+10 e 3x4+7, nesta respectiva ordem. Entretanto, deve ser observado que o tratamento 10x2, assim como o tratamento 3x4+7+10, apresentou maior altura dominante, que aponta para uma diferença de sítio, o que pode também estar associado aos maiores diâmetros apresentados.

5.3 Dinâmica de crescimento

Os dados referentes ao crescimento das plantas ao longo do tempo estão representados nos Gráficos 9 e 10. Na Tabela 13 estão apresentadas as equações ajustadas para DAP e volume por área em relação ao tempo.

A análise do Gráfico 9 mostra a diminuição da velocidade de crescimento em DAP entre os 51 e os 66 meses após o plantio em praticamente todos os espaçamentos. Nos espaçamentos mais adensados, nota-se que essa redução foi mais branda em função dos menores valores de DAP apresentados pelas plantas. É interessante apontar que a taxa de crescimento destas plantas teve um decréscimo menos abrupto que nos espaçamentos mais largos, que vinham com crescimento em DAP maior. Dessa forma, é possível dizer que a maior parte do crescimento em DAP ocorreu na primeira metade do tempo de implantação, especialmente nos espaçamentos maiores.

Tabela 13 Equações ajustadas para os parâmetros de crescimento em diâmetro (DAP) e volume de madeira com casca por área (Vha), em função dos espaçamentos no tempo

Arranjo	Variável	Equação	R ² (%)	Syx.
10x4	DAP	$26,7251*(1-\exp(-0,0403204*\text{Ano}))^{1,85387}$	98,46	0,81
	V ha	$206,049*(1-\exp(-0,0336258*\text{Ano}))^{5,09395}$	95,14	15,26
10x3	DAP	$23,2827*(1-\exp(-0,0434927*\text{Ano}))^{1,74735}$	96,95	0,93
	V ha	$198,544*(1-\exp(-0,0360472*\text{Ano}))^{4,97563}$	93,37	17,82
3x3+15	DAP	$22,6065*(1-\exp(-0,0508511*\text{Ano}))^{2,46125}$	98,80	0,62
	V ha	$212,077*(1-\exp(-0,0373528*\text{Ano}))^{5,44537}$	97,89	10,63
3x4+7+10	DAP	$23,7771*(1-\exp(-0,0471555*\text{Ano}))^{2,20038}$	98,13	0,80
	V ha	$251,688*(1-\exp(-0,0363854*\text{Ano}))^{5,67099}$	96,28	16,94
3x4+10	DAP	$22,2144*(1-\exp(-0,0398982*\text{Ano}))^{1,74045}$	98,47	0,65
	V ha	$213,263*(1-\exp(-0,0343995*\text{Ano}))^{5,39581}$	95,91	14,55
10x2	DAP	$22,0409*(1-\exp(-0,033535*\text{Ano}))^{1,2343}$	94,47	1,11
	V ha	$271,094*(1-\exp(-0,0359884*\text{Ano}))^{5,85927}$	92,75	25,70
3x4+7	DAP	$20,6375*(1-\exp(-0,0335977*\text{Ano}))^{1,08795}$	94,86	0,93
	V ha	$238,61*(1-\exp(-0,0314647*\text{Ano}))^{4,69854}$	97,64	12,13
3x3+10	DAP	$20,8211*(1-\exp(-0,0312585*\text{Ano}))^{1,13215}$	95,95	0,86
	V ha	$242,981*(1-\exp(-0,0319465*\text{Ano}))^{4,87698}$	94,04	19,58
5x2	DAP	$17,6575*(1-\exp(-0,023512*\text{Ano}))^{0,754296}$	96,76	0,56
	V ha	$336,294*(1-\exp(-0,0250728*\text{Ano}))^{3,10226}$	96,29	19,04
3,3x3	DAP	$17,52*(1-\exp(-0,0278031*\text{Ano}))^{0,834391}$	96,14	0,61
	V ha	$355,052*(1-\exp(-0,0256565*\text{Ano}))^{3,21126}$	94,43	25,13
3,3x2	DAP	$15,1497*(1-\exp(-0,0258772*\text{Ano}))^{0,79486}$	98,20	0,35
	Vha	$358,186*(1-\exp(-0,0252704*\text{Ano}))^{3,07154}$	98,04	14,67

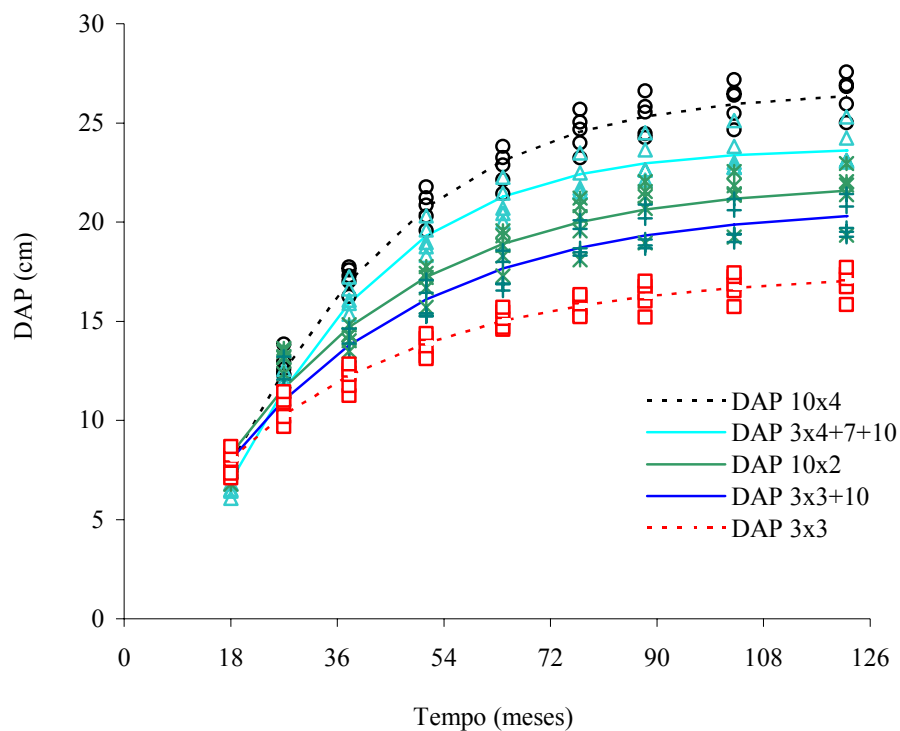


Gráfico 9 Representação gráfica do desenvolvimento diamétrico das plantas, em função dos tratamentos

A análise da curva de crescimento em volume de madeira com casca, mostrada no Gráfico 10, mostra um aumento na velocidade de crescimento nos tratamentos mais amplos entre as idades de 38 e 66 meses, não conseguindo, entretanto, compensar o ganho obtido pelo maior número de plantas dos espaçamentos mais adensados. É importante salientar nessa Figura, a tendência de todos os tratamentos diminuírem seu crescimento na mesma época, apesar da grande diferença de densidade de plantio.

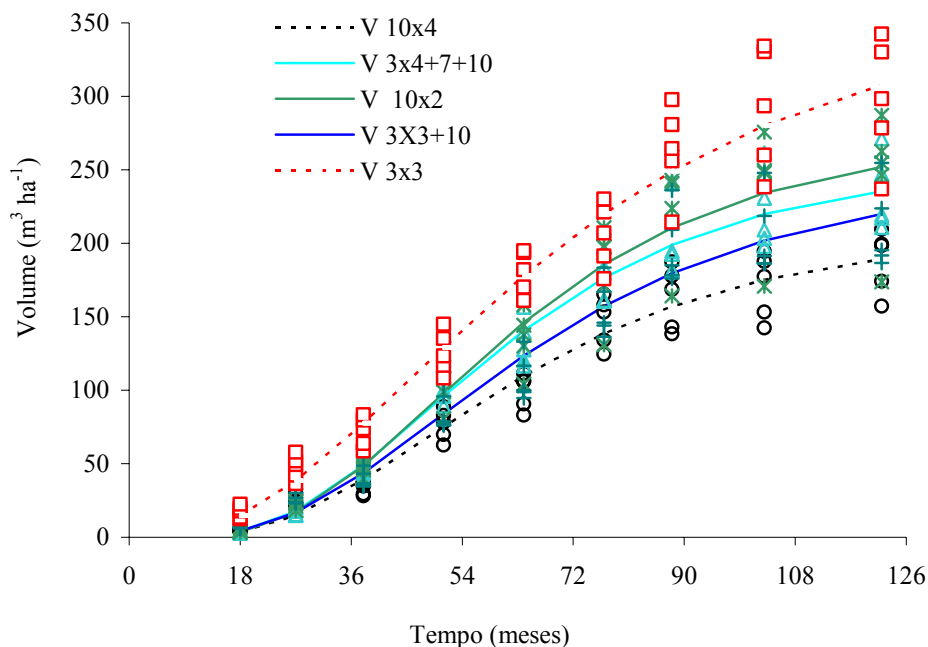


Gráfico 10 Representação gráfica do desenvolvimento em volume do povoamento, em função dos tratamentos

5.3.1 Idade de máximo incremento médio em volume de madeira

Nos Gráficos 11 e 12 observa-se a relação entre incremento médio anual e incremento corrente anual, em volume por hectare, para os diversos espaçamentos. Os dados apresentados nestes Gráficos, juntamente com os da Tabela 13, confirmam que as plantas tenderam a reduzir o crescimento em idades muito próximas, haja vista a grande diferença existente entre os espaçamentos.

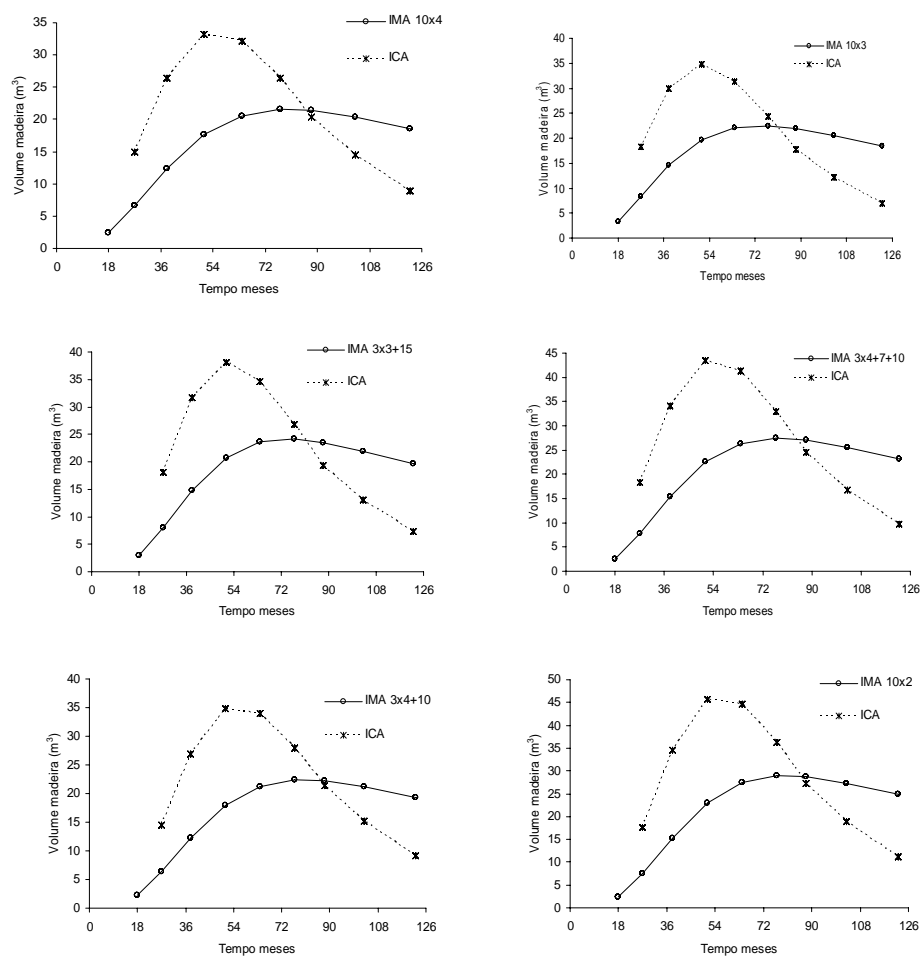


Gráfico 11 Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual para volume de madeira nos espaçamentos de plantio 10x4, 10x3, 3x3+15, 3x4+7+10, 3x4+10 e 10x2 m

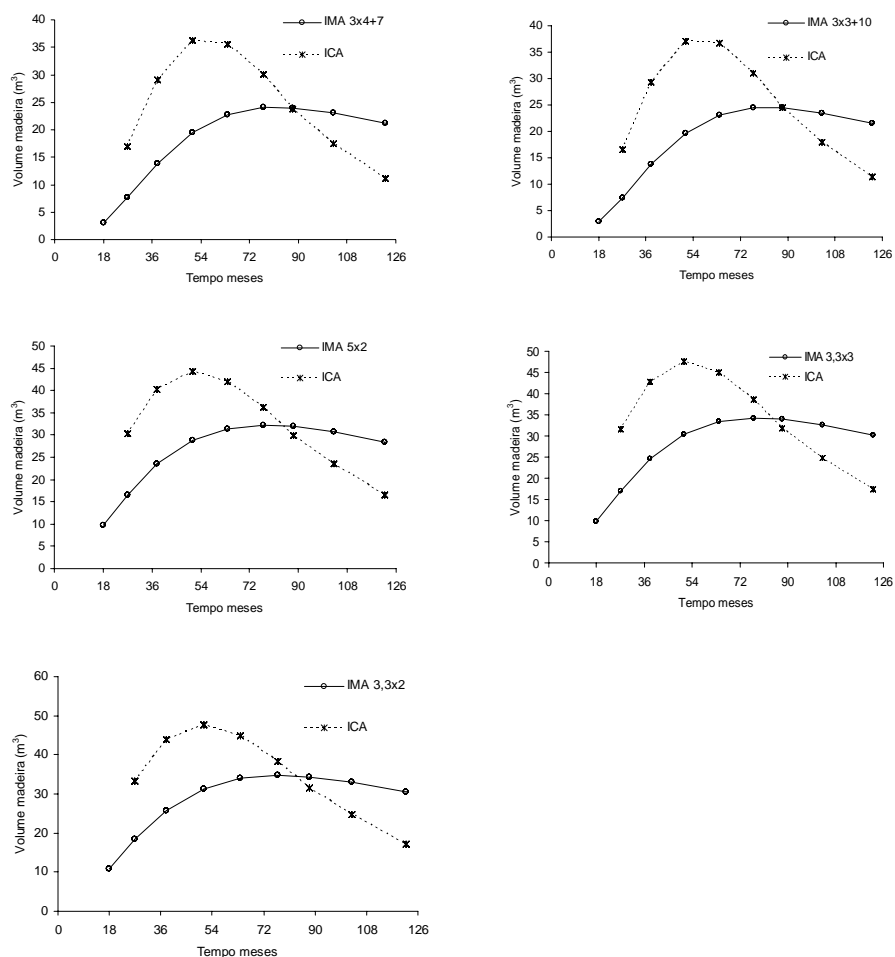


Gráfico 12 Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual para volume de madeira nos espaçamentos de plantio 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3,3x3 e 3,3x2 m

Na Tabela 14 são apresentados os pontos de máximo incremento em volume obtido por meio das curvas de incremento médio anual ajustadas. Nota-se que os tratamentos com 3 m de espaçamento na linha tenderam a reduzir o crescimento um pouco mais cedo, quando comparados aos tratamentos com área útil semelhante. Todavia, as idades em que foi encontrado o máximo

crescimento volumétrico variam relativamente pouco, contrastando com a grande diferença de área útil implantada entre os tratamentos, indicando a necessidade de uma intervenção, mesmo nos arranjos mais amplos.

Tabela 14 Idade de máximo incremento e curvas de incremento médio anual (IMA), em volume do povoamento, em função dos tratamentos

Tratamento	População Plantas ha ⁻¹	IMA máximo		Equação IMA m ³ ha ⁻¹	R ²
		Anos	Meses		
10x4	250	7,46	89,50	-8,7912+ 0,7016x-0,004x ²	0,99
10x3	333	7,07	84,90	-7,7079+0,7301x-0,0043x ²	0,98
3x3+15	37	7,16	85,97	-9,6375+0,8081x-0,0047x ²	0,98
3x4+7+10	375	7,29	87,49	-12,325+0,9274x-0,0053x ²	0,99
3x4+10	385	7,33	88,00	-9,8455+0,7392x-0,0042x ²	0,99
10x2	500	7,41	88,93	-13,79+ 0,9782x-0,0055x ²	0,99
3x4+7	500	7,52	90,21	-9,0303+0,7578x-0,0042x ²	0,99
3x3+10	512	7,40	88,78	-9,7638+0,7813x-0,0044x ²	0,99
5x2	1000	7,15	85,81	-2,24+ 0,8238x-0,0048x ²	0,98
3,3x3	1001	7,33	87,97	-3,3704+0,8965x-0,0052x ²	0,97
3,3x2	1501	7,19	86,31	-1,7731+0,8804x-0,0051x ²	0,97

Uma possível causa para esse fato seria algum distúrbio no crescimento deste povoamento, que teria paralisado precocemente seu desenvolvimento. Essa suposição, contudo, não foi percebida durante o acompanhamento do trabalho. Outra hipótese levantada seria a de que o maior desenvolvimento das árvores, proporcionado pelos espaçamentos maiores, teria atingido a capacidade do sítio, limitando seu crescimento praticamente ao mesmo tempo dos espaçamentos menores. Outro fato que pode potencializar essa competição é a utilização de mudas clonais, que dificulta o aparecimento de indivíduos superiores que manteriam o crescimento em idades mais avançadas. De qualquer forma, os dados mostraram que o monitoramento e as intervenções de desbaste são necessários, mesmo nos espaçamentos mais amplos.

Morais (2006), trabalhando nesta mesma região do estado de Minas Gerais, encontrou a idade silvicultural de corte crescendo conforme o aumento

do espaçamento. Assim, a rotação silvicultural foi de 84 meses para o espaçamento 3,3x2 m, 108 meses no espaçamento 6x2 m, 120 meses para os espaçamentos 6x3 m e 6x4 m e 108 meses para o espaçamento 12x2,5 m. Nota-se, neste caso, um comportamento diferente do observado no presente estudo. Entretanto, no espaçamento mais amplo, também foi observada redução precoce na taxa de crescimento, como verificado neste trabalho.

Campos et al. (1990) verificaram que o nível inicial de área basal para *E. grandis* afeta a idade de corte e o porte das árvores com tendência a diminuir a rotação com o aumento da área basal inicial.

Nos Gráficos 13 e 14 encontram-se as representações gráficas dos incrementos médio e corrente anual em diâmetro à altura do peito (DAP). É possível verificar que a redução do crescimento em diâmetro se inicia antes dos 36 meses para os arranjos com área útil maior e mais cedo ainda para os arranjos adensados, conforme já parcialmente relatado para estes arranjos por Oliveira et al. (2009).

Essa análise reforça o conceito de que as plantas, mesmo entre os tratamentos mais espaçados, entram em competição muito cedo. Assim, as avaliações de monitoramento do crescimento devem ser precoces nas explorações que se destinam à produção de toras com maior diâmetro, mesmo nos arranjos com maior área útil.

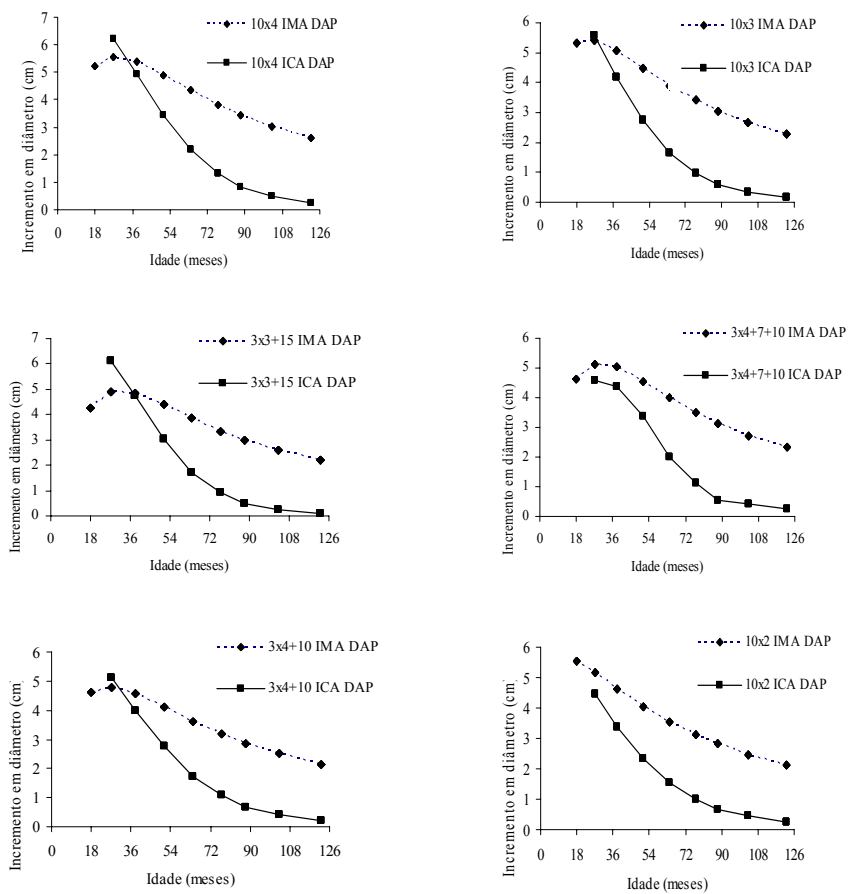


Gráfico 13 Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual, para diâmetro à altura do peito, nos espaçamentos de plantio 10x4, 10x3, 3x3+15, 3x4+7+10, 3x4+10 e 10x2 m

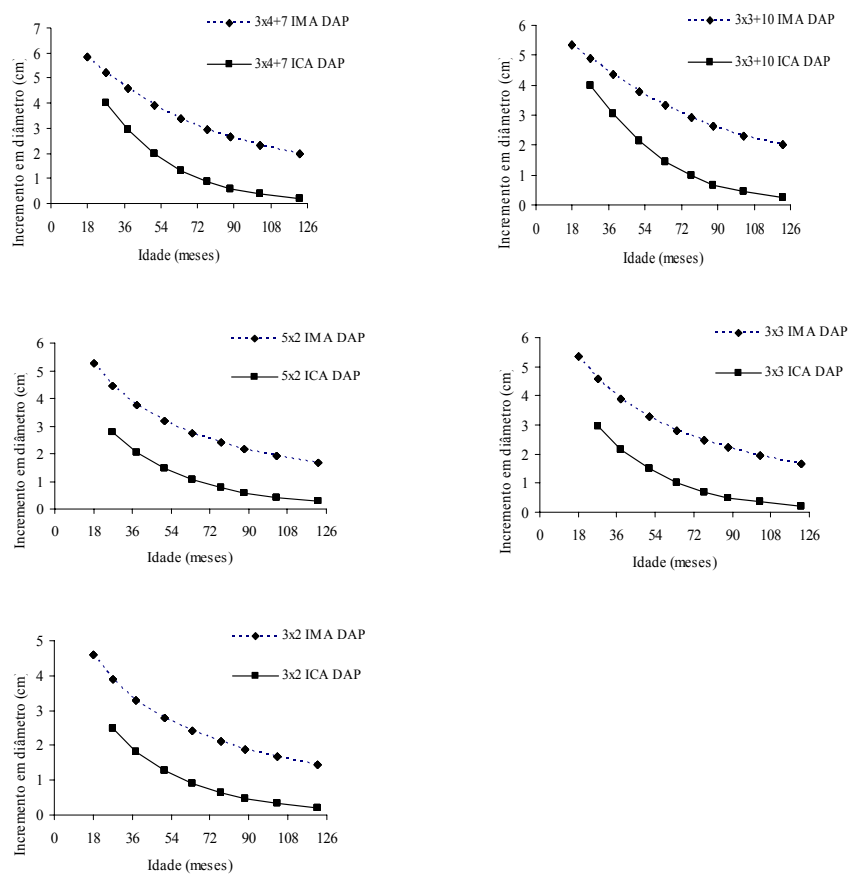


Gráfico 14 Representação gráfica das curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual, para diâmetro à altura do peito, nos espaçamentos de plantio 3x4+7, 3x3+10, 5x2, 3,3x3 e 3,3x2 m

5.4 Determinação do sortimento de madeira, aos 122 meses após o plantio

Os parâmetros estimados para as funções de afilamento, ajustadas com o modelo polinômio do quinto grau, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação do polinômio do quinto grau para cada tratamento e para o modelo reduzido

Tratamento	Número de plantas	Gl.	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ² (%)	Syx (%)
10x4	8	146	1,16705	-4,09495	13,0725	-24,9222	23,2776	-8,50037	97,4	6,66
10x3	8	134	1,19782	-5,10069	24,8393	-75,3326	106,341	-51,9446	98,3	5,31
3x3+15	8	139	1,2033	-5,10837	22,5082	-60,3921	77,4782	-35,6858	96,7	7,42
3x4+7+10	6	110	1,20297	-4,82719	21,2265	-51,4882	57,1408	-23,2555	98,5	4,85
3x4+10	6	98	1,22452	-5,67857	29,558	-88,8509	121,908	-58,161	97,2	6,83
10x2	10	134	1,17013	-3,94742	16,0909	-45,5444	61,2478	-29,0172	97,1	6,93
3x4+7	6	106	1,18638	-4,43767	17,0278	-40,6852	47,3367	-20,4288	97,8	6,23
3x3+10	8	121	1,19516	-4,27565	15,6934	-37,5518	44,8738	-19,9351	96,1	8,17
5x2	7	92	1,22407	-5,07208	23,1847	-66,0762	87,5592	-40,8199	97,3	7,01
3,3x3	6	92	1,19786	-3,91835	12,6802	-29,3015	34,6888	-15,3478	97,0	7,69
3,3x2	6	68	1,22795	-6,45449	46,1943	-196,764	358,971	-203,175	98,0	5,95
Reduzido	79	1300	1,19145	-4,24969	14,4389	-30,1997	31,665	-12,846	85,5	7,10

A análise de identidade de modelos realizada entre todas as equações (modelo completo) e uma só equação (modelo reduzido), apresentado na Tabela 16, mostra que, apesar do menor coeficiente de correlação, a equação reduzida pode ser utilizada para todos os modelos ajustados.

Tabela 16 Resultado do teste de identidade das equações para todos os tratamentos, aos 122 meses de plantio

Tratamentos	QMdiferença	QMresíduo	F c.	F t. 5%	Teste
1 a 11	0,033857	0,049714	0,681041	1,360633	Ns.

Ns.- não significativo, pelo teste de F, a 5% de probabilidade

Portanto, de posse da equação reduzida, foram calculados os sortimentos pré-determinados como toras de 2,2 m e diâmetro mínimo de 25 cm, toretes de 2,2 m com até 20 cm de diâmetros, postes com 7 m e diâmetro mínimo da ponta de 14,5 cm, mourões com 2,2 m de comprimento e diâmetro mínimo de 6,5 cm e o resíduo composto por madeira fina, com base em uma única equação de afilamento.

A análise estatística realizada sobre os volumes de produtos obtidos é apresentada na Tabela 17. Observou-se que os tratamentos aplicados influenciaram diretamente todos os volumes dos sortimentos avaliados.

Tabela 17 Resumo da análise de variância do volume de tora, toretes, postes e madeira fina, em função de diferentes arranjos de plantio, aos 122 meses

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio				
		Tora	Torete	Poste	Mourão	Mad. fina
Espaçamento	10	1574,20**	1574,20**	1808,36**	20866,44	581,65**
Bloco	4	34,833	34,833	61,745	85,440	0,268
Resíduo a	40	32,060	32,060	48,117	125,361	0,544
CV		46,53	21,16	26,89	9,14	6,95

** - Significativo, pelo teste de F, a 1%

Pelos dados da Tabela 18 é possível notar que os volumes de toras diminuem conforme o aumento do número de plantas por hectare e a consequente redução da área útil, como era esperado. Todavia, é possível notar também uma diminuição da produção de toretes com o uso de linhas duplas, mesmo quando a área útil por planta permanece a mesma, como pode ser notado especialmente entre os tratamentos 10x2, 3x4+7 e 3x3+10. No espaçamento 10x2 houve uma pequena produção de toras ($4,83 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), o que não ocorreu com os demais tratamentos com essa área útil.

Tabela 18 Volume de produtos madeireiros obtidos por hectare de eucalipto, conforme arranjo estrutural de plantio, aos 122 meses após o plantio

Tratamento	Tora		Torete		Poste		Mourão		Madeira fina	Volume total*		
	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$											
10x4	29,34	a	37,79	b	38,73	b	45,04	e	2,46	f	153,4	e
10x3	13,45	b	40,44	a	46,64	a	61,69	d	3,40	f	165,6	e
3x3+15	0,54	d	34,38	b	31,96	b	81,89	c	4,10	e	152,9	e
3x4+7+10	15,08	b	47,12	a	51,69	a	74,58	c	4,05	e	192,5	c
3x4+10	2,72	c	37,22	a	31,91	b	81,95	c	4,76	e	158,6	e
10x2	4,83	c	42,00	a	44,06	a	107,12	c	6,34	d	204,4	c
3x4+7	0	d	29,90	c	12,13	c	124,49	b	6,66	d	173,2	d
3x3+10	0	d	22,63	c	21,05	c	123,71	b	7,59	c	175,0	d
5x2	0	d	0,52	d	1,84	d	207,05	a	19,93	b	229,3	b
3,3x3	0	d	1,87	d	3,74	d	224,66	a	20,49	b	250,8	a
3,3x2	0	d	0,48	d	0	d	215,33	a	37,03	a	252,8	a

*Não incluso o volume de toco. Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na coluna, pelo teste Scott-Knott, a 1% de significância

Para os produtos mourões e madeira fina, percebe-se que estes aumentam em quantidade e proporção, conforme aumentam as densidades de plantio.

A análise dos dados da Tabela 18 permite também a comparação do adensamento na linha e na entrelinha, nos arranjos com linhas simples e duplas. Assim o adensamento realizado entre os tratamentos 3x4+10 para 3x3+10 reduziu a produção de toretes de 37,22 para 22,63 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, enquanto a redução

para 3x4+7 reduziu a produção de toretes para $29 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, reafirmando a grande competição apresentada no adensamento na linha nos arranjos com linhas duplas. Da mesma forma, a redução de 2 m entre plantas no tratamento 10x2, produziu $42 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de toretes e ainda $4,83 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de toras. Assim, estes resultados sinalizam para o adensamento entre plantas, dentro de uma linha simples de plantio.

Outro fator observado nos sistemas composto com linhas duplas é o direcionamento das plantas para as entrelinhas de plantio, causado pela competição entre as plantas. Nestes casos, esse tipo de crescimento e a inclinação resultante certamente promoverão tensões de crescimento diferenciadas na madeira do lado interno e externo à linha de plantio. Dessa forma, alguns produtos madeireiros que exigem uma qualidade maior, como madeira para serraria, ou até mesmo postes, podem ter sua utilização limitada, seja por rachaduras na madeira ou, mesmo, por tortuosidade no fuste. Na Figura 3 observa-se o efeito das linhas duplas sobre as plantas nos espaçamentos 3x3+15 e 3x4+7+10. Nota-se que, mesmo no arranjo com espaçamento menor nas entrelinhas, com 7 m, o crescimento ocorreu em direção ao centro da entrelinha.

Como a viabilidade destes sistemas está relacionada à produção de madeira, a atenção ao aspecto qualidade é muito importante. Nesse sentido, Radomski e Ribaski (2009) alertam para o fato de que a utilização de espaçamentos que resultam em diferentes efeitos de vizinhança entre as árvores pode gerar excentricidade da medula, em virtude do crescimento diferenciado da madeira. Relações entre a distância da medula da árvore em relação ao eixo geométrico e o diâmetro das toras maiores que 5% indicam toras excêntricas (elípticas) de qualidade inferior.



Arranjo de plantio 3x3+15



Arranjo de plantio 3x4+7+10

Figura 3 Aspecto de crescimento nos arranjos em linhas duplas, aos 144 meses após o plantio

5.5 Análise econômica

Para análise econômica, foram utilizados os dados levantados no trabalho de Dubè (1999). Os preços de madeira de destoca, produtos agrícolas e pecuários, bem como os demais gastos de implantação, foram corrigidos à taxa de 6% ao ano, para o ano de 2012.

As produtividades das culturas agrícolas foram determinadas conforme a área útil para plantio em cada arranjo, considerando-se a área das entre linhas para plantio, sempre descontada a distância de 1 m da linha de plantio do eucalipto. Assim, as faixas entre as fileiras duplas e o afastamento das linhas de plantio foram descontados da área de plantio, conforme cada arranjo e expressas em redução de produtividade para as culturas agrícolas.

Para a produtividade da pastagem não se seguiu esse critério, uma vez que a gramínea acaba ocupando toda a área, segundo Porfírio da Silva (2007). Assim, a produção animal expressa em arrobas por ha⁻¹ ano⁻¹ foi considerada a mesma para todos os espaçamentos.

Os preços corrigidos para o ano de 2012, as produtividades das culturas agrícolas adaptadas para os tratamentos e a produtividade pecuária são apresentados na Tabela 19. Nota-se que as produções são as mesmas para os arranjos com mesmo espaçamento nas linhas de plantio, independente da população de eucalipto da área.

Tabela 19 Valor dos produtos agropecuários e produtividades utilizadas na composição das receitas, em cada arranjo de plantio

Produtos	Preço R\$	Arranjo de plantio							
		10x4	10x3	3x3+15	3x4+7+10	3x4+10	10x2	3x4+7	3x3+10
		Produtividade ha ⁻¹ ano ⁻¹							
Arroz (sc)	34,25	23,30	23,30	19,41	18,94	17,92	23,30	14,56	17,92
Soja (sc)	35,96	25,00	25,00	20,84	20,33	19,23	25,00	15,63	19,23
Boi (@)	71,36	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Nas Tabelas 20 e 21 estão apresentados os valores totais gastos para implantação e manutenção do sistema agrossilvipastoril, bem como as receitas, de acordo com os tratamentos estudados, obtidos e adaptados do trabalho de Dubè (1999), atualizados para o ano de 2012 (Tabela 21). Nota-se que o custo de implantação do eucalipto é um importante componente do custo total, mesmo nos sistemas agrossilvipastoris, por ser este um valor desembolsado em um único ano do empreendimento. Este custo aumenta conforme a densidade de plantio e, em especial, com a utilização de linhas duplas, em que são necessárias mais operações com máquinas. Este fato pode ser observado comparando-se os espaçamentos 10x2, 3x4+7 e 3x3+10. Estes arranjos têm 500 plantas por hectare e custo de implantação do eucalipto de R\$1.597,56, R\$1.692,92 e R\$1.657,26, respectivamente.

Tabela 20 Discriminação dos valores totais gastos na implantação e na condução em cada arranjo de plantio de eucalipto, por ciclo de 11 anos, em reais (R\$) por hectare

Discriminação	Anos	Valores totais de gastos de acordo com os arranjos de plantio (R\$.ha ⁻¹)										
		10x4	10x3	3x3+15	3x4+7+10	3x4+10	10x2	3x4+7	3x3+10	5x2	3,3x3	3,3x2
Implantação eucalipto	0	1301,24	1391,81	1454,80	1502,27	1514,65	1597,56	1692,92	1657,26	2260,87	2435,13	2734,26
Implantação arroz	0	673,88	673,88	561,57	547,87	518,37	673,88	421,18	518,37			
Implantação soja	1	810,37	810,37	675,32	658,84	623,37	810,37	506,48	623,37			
Manutenção eucalipto	1 a n	1016,60	1152,75	1234,44	1246,09	1261,67	1470,44	1470,44	1492,23	1090,30	1090,30	1291,84
Custo da terra *	1 a n	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89	1569,89
Implantação pastagem	2	727,97	727,97	727,97	727,97	727,97	727,97	727,97	727,97			
Infraestrutura pecuária	3	338,10	338,10	338,10	338,10	338,10	338,10	338,10	338,10			
Insumos, mão-de-obra e depreciação pecuária	3 a n	555,40	555,40	555,40	555,40	555,40	555,40	555,40	555,40			
Aquisição novilhos	3, 5, 7, 9	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51			
Manutenção pastagem	5 e 8	614,14	614,14	614,14	614,14	614,14	614,14	614,14	614,14			
Total		11889,10	12115,82	12013,14	12042,08	12005,07	12639,26	12178,03	12378,24	4921,06	5095,32	5595,99

Fonte: Adaptado de Dubè (1999) * Custo da terra – taxa de juros anual sobre o valor da terra (10%)

Tabela 21 Discriminação das receitas obtidas em cada arranjo de plantio de eucalipto, por ciclo de 11 anos, em reais (R\$) por hectare

Discriminação	Anos	Receitas totais dos arranjos de plantio (R\$ ha ⁻¹)										
		10x4	10x3	3x3+15	3x4+7+10	3x4+10	10x2	3x4+7	3x3+10	5x2	3,3x3	3,3x2
Madeira de destoca	0	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43	285,43
Arroz	0	798,07	798,07	665,06	648,84	613,90	798,07	498,80	613,90			
Soja	1	899,17	899,17	749,26	730,99	691,63	899,17	561,95	691,63			
Bois para abate	5, 7, 9, 11	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51	4281,51			
Madeira eucalipto	11	17624,66	16303,22	13439,06	18861,16	13658,80	17079,13	12974,91	11804,80	11268,25	12527,64	12136,48
Total		23888,84	22567,40	19420,32	24807,93	19531,27	23343,31	18602,60	17677,27	11553,68	12813,07	12421,91

Adaptado de Dubè (1999)

Pelos dados da Tabela 21 é possível identificar que as maiores receitas foram obtidas pelos sistemas agrossilvipastoris, sendo o principal componente destas receitas a madeira no final do ciclo. As receitas com a venda de animais contribuíram também de forma expressiva nestes sistemas, sendo pelo menos duas vezes maior que as demais. Nesse aspecto, é importante lembrar que a receita proveniente dos animais não seria possível nesse montante sem as culturas anteriores, tornando impossível uma separação do peso dessas atividades.

Na Tabela 22 são apresentados os valores discriminados de madeira por produto, em cada arranjo de plantio. Os valores totais apurados com a venda de madeira em pé variaram de R\$ 18.861,16, para o arranjo 3x4+7+10, até R\$ 11.804,80, para o arranjo 3x3+10, ou seja, uma variação de 59% entre os valores. Também é possível notar que, nos espaçamentos mais amplos, o principal componente das receitas é proveniente das madeiras de maior diâmetro, como esperado. Ainda nesta tabela é possível notar o maior valor obtido pelos arranjos de linhas simples em relação aos de linhas duplas, promovido, especialmente, pela maior proporção de madeira mais grossa.

Analisando-se o fluxo de caixa (Tabela 23) é possível notar que o investimento inicial dos dois primeiros anos é maior nos sistemas agroflorestais, exceto quando comparados com o arranjo 3,3x2. Todavia, o saldo em receita e despesas neste período é bem mais equilibrado nestes sistemas.

Aos cinco anos, o investimento inicial dos sistemas agroflorestais (10x4) é cerca de 51% maior que o plantio realizado no espaçamento 3,3x3, mas o saldo entre receitas e despesas é de apenas 5% superior no sistema agroflorestal, mostrando o melhor equilíbrio financeiro destes sistemas.

Tabela 22 Valores de produtos madeireiros obtidos por hectare de eucalipto, conforme arranjo estrutural de implantação, aos 122 meses após o plantio

Produtos	Preço	Arranjos de plantio										
		10x4	10x3	3x3+15	3x4+7+10	3x4+10	10x2	3x4+7	3x3+10	5x2	3,3x3	3,3x2
		R\$ ha ⁻¹										
	m ³											
Tora	200,00	5869,13	2686,47	544,20	3016,37	543,66	965,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torete	180,00	6802,95	7271,69	6343,01	8483,63	6698,38	7560,70	5516,42	4025,48	94,22	337,08	86,31
Poste	67,50	2614,47	3144,90	2307,25	3489,82	2153,53	2974,32	839,34	1404,39	124,08	252,21	0,00
Mourões	50,00	2251,92	3081,16	4100,30	3729,51	4096,80	5356,13	6380,26	6112,39	10352,46	11221,96	10755,43
Resíduo	35,00	86,18	119,00	144,30	141,83	166,43	221,99	238,90	262,53	697,48	716,39	1294,73
Total		17624,66	16303,22	13439,06	18861,16	13658,80	17079,13	12974,91	11804,80	11268,25	12527,64	12136,48

Tabela 23 Fluxo de caixa anual para os arranjos de plantio de eucalipto, com receita final oriunda de produtos múltiplos de madeira

Trat.	Componente	Ano											
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
10x4	Custos	1975,12	1106,20	1106,89	1144,08	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	1083,51	899,12	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	18529,97
	Saldo	-891,61	-207,08	-1106,89	-1144,08	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	18277,73
10x3	Custos	2065,69	1137,03	1158,27	1198,03	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	1083,51	899,12	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	17260,73
	Saldo	-982,18	-237,91	-1158,27	-1198,03	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	17008,48
3x3+15	Custos	2016,36	1020,46	1189,09	1230,40	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	950,49	749,26	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	14546,46
	Saldo	-1065,87	-271,20	-1189,09	-1230,40	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	14294,22
3x4+7+10	Custos	2050,14	1006,04	1192,52	1236,56	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	934,27	730,99	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	19812,91
	Saldo	-1115,87	-275,05	-1192,52	-1236,56	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	19560,67
3x4+10	Custos	2033,02	974,68	1199,37	1241,19	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	899,34	691,63	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	14742,95
	Saldo	-1133,69	-283,05	-1199,37	-1241,19	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	14490,71
10x2	Custos	2271,44	1208,96	1278,15	1323,91	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	1083,51	899,12	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	18233,36
	Saldo	-1187,94	-309,84	-1278,15	-1323,91	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	17981,12

Tabela 23, continuação

Trat.	Componente	Ano											
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
3x4+7	Custos	2114,09	905,06	1278,15	1323,91	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	784,23	561,95	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	14342,71
	Saldo	-1329,86	-343,12	-1278,15	-1323,91	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	14090,47
3x3+10	Custos	2175,63	1026,88	1286,37	1332,54	252,24	916,11	252,24	609,04	559,31	609,04	252,24	252,24
	Receitas	899,34	691,63	0,00	0,00	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	1070,38	0,00	13225,27
	Saldo	-1276,29	-335,25	-1286,37	-1332,54	-252,24	154,27	-252,24	461,34	-559,31	461,34	-252,24	12973,03
5x2	Custos	2260,86	572,92	290,89	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60
	Receitas	285,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12198,62
	Saldo	-1975,43	-572,92	-290,89	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	11999,02
3,3x3	Custos	2435,13	572,92	290,89	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60
	Receitas	285,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13528,77
	Saldo	-2149,69	-572,92	-290,89	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	13329,17
3,3x2	Custos	2734,26	744,18	321,16	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60	199,60
	Receitas	285,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13022,26
	Saldo	-2448,83	-744,18	-321,16	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	-199,60	12822,66

A partir do sexto ano de investimento, nota-se uma alternância de saldos positivos e negativos para os sistemas agroflorestais, que resultam em um saldo positivo de R\$111,13 neste período que antecede a colheita principal. Nos sistemas convencionais de exploração, o saldo entre receitas e despesas é sempre negativo neste período (R\$ -798,40), composto, principalmente, pelo custo da terra, mas, nos sistemas agroflorestais, está sendo remunerado por outras atividades. É importante chamar a atenção para o fato de que, nos espaçamentos convencionais, o corte raso deveria ser feito próximo aos sete anos de idade, o que não aconteceu neste caso e, portanto, penalizou os tratamentos convencionais.

Na Tabela 24 são mostrados os dados de valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR). De acordo com Soares, Carvalho e Vale (2003), um projeto é viável economicamente se $VPL > 0$, $TIR > TMA$ (taxa mínima de atratividade). Dessa forma, pode-se notar que todos os arranjos de plantio foram economicamente viáveis, com VPL positivos e TIR maior que a taxa de desconto.

Tabela 24 Valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), em função dos tratamentos

Tratamento	VPL (11 anos)	TIR
	R\$ ha ⁻¹	%
10x4	5381,27	19,3
10x3	4605,99	17,6
3x3+15	3208,65	14,8
3x4+7+10	5555,79	18,4
3x4+10	3207,68	14,6
10x2	4598,80	16,5
3x4+7	2659,97	13,0
3x3+10	2193,37	12,2
5x2	1897,65	11,8
3,3x3	2341,83	12,5
3,3x2	1655,13	10,6

Os valores de VPL e TIR encontrados neste trabalho para os sistemas agroflorestais, utilizando-se uma taxa de desconto anual de 6,75%, foram sempre positivos, variando de 2.193,37 e 5.555,79 R\$ ha⁻¹ para os tratamentos 3x3+10 e 3x4+7+10 respectivamente (Tabela 24). Quanto a TIR, os valores variaram entre 12,2% e 19,3%, respectivamente, para os mesmos tratamentos, reforçando que o maior valor dos investimentos iniciais não foi remunerado ao final da exploração.

Soares et al. (2003) encontraram VPL de -502,41 US\$ ha⁻¹ e TIR de -10,31%, na análise de um plantio de *E. grandis* destinado à energia e VPL de 117,76 US\$ ha⁻¹ e TIR de 12,77%, quando a floresta foi destinada a multiprodutos, comprovando a maior rentabilidade econômica desta segunda opção. Da mesma forma, Souza et al. (2007) encontraram valores de VPL de -496,21 a 2.229,67 R\$ ha⁻¹, conforme variou o índice de sítio, a idade de exploração e o produto, que influenciam no respectivo preço de venda da madeira, sendo estes valores condizentes com os encontrados neste trabalho.

Por meio da comparação dos parâmetros VPL e TIR (Tabela 24) entre os tratamentos com sistema agroflorestal, no período compreendido entre a sua implantação (1999) e a simulação de colheita (2010), nota-se que o maior investimento realizado em mais plantas por hectare não se traduziu em melhores resultados econômicos, devido à menor produção de madeira de maior valor. Desse modo, em rotações silviculturais mais longas, em que não esteja previsto o uso de desbaste, deve-se evitar o adensamento de plantas, em especial aqueles tratamentos com maior número de linhas de plantio, que oneram a implantação e reduzem a lucratividade do empreendimento, quando não existir o planejamento de desbastes na área.

Uma exceção a esse comportamento é o maior VPL alcançado pelo tratamento 3x4+7+10, arranjo combinado com linhas duplas e simples, que apresentou maiores produções em volume, com boa produção de toras e toretes,

combinando arranjo duplo e simples. Esse tipo de arranjo pode ser proposto para sistemas agroflorestais com uso de desbaste sistemático, aumentando a produção de madeira mais fina, sem comprometimento da produção de toras e facilitando a operação de desbaste.

É importante deixar claro que os arranjos de plantio tradicionais que contaram apenas com o componente arbóreo, analisados neste caso com um só corte aos 11 anos, não devem ser comparados com os sistemas agroflorestais, pois há muito já teriam sido colhidos.

Assim, para a comparação entre o sistema de exploração tradicional, com três cortes rasos, e os sistemas agrossilvipastoris, foi calculado o valor presente líquido infinito, com os valores das receitas que seriam obtidas aos 7, 14 e 21 anos de idade apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 Valor da venda de madeira obtido de uma simulação da exploração tradicional com três cortes rasos do arranjo de plantio 3,33x3 e 3x2 metros

Cortes	Valor madeira (R\$ m ⁻³)	Volume (m ³ .ha ⁻¹)			Valor (R\$.ha ⁻¹)		
		5x2	3,3x3	3x2	5x2	3,3x3	3x2
7 anos	46,67	247,56	262	278,18	11552,80	12226,67	12981,73
14 anos*	42,5	197,04	208,53	222,54	8374,10	8862,55	9458,12
21anos**	38,33	165,13	174,75	184,71	6329,89	6699,11	7080,61
Total		609,73	645,28	685,43	26256,79	27788,33	29520,46

*80% do volume da primeira colheita. ** 83% do volume da segunda colheita Fonte: Dubè (1999)

Na Tabela 26 é apresentado o fluxo de caixa dos arranjos de plantio tradicionais, em rotação silvicultural de 21 anos.

Tabela 26 Fluxo de caixa dos arranjos de plantio tradicionais, em um ciclo de 21 anos

Arranjo de plantio									
Ano	5x2			3,33x3			3x2		
	Custos	Receitas	Saldo	Custos	Receitas	Saldo	Custos	Receitas	Saldo
(R\$.ha ⁻¹)									
1999	2260,86	285,43	-1975,43	2435,13	285,43	-2149,69	2734,26	285,43	-2448,83
2000	572,92	0	-572,92	572,92	0	-572,917	744,18	0	-744,18
2001	290,89	0	-290,89	290,89	0	-290,886	321,16	0	-321,16
2002	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2003	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2004	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2005	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2006	199,60	11552,80	11353,20	199,60	12226,67	12027,07	199,60	12981,73	12782,14
2007	302,35	0	-302,35	302,35	0	-302,354	353,73	0	-353,73
2008	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2009	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2010	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2011	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2012	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60

Tabela 26, continuação

Arranjo de plantio									
Ano	5x2			3,33x3			3x2		
	Custos	Receitas	Saldo	Custos	Receitas	Saldo	Custos	Receitas	Saldo
(R\$.ha ⁻¹)									
2013	199,60	8374,10	8174,50	199,60	8862,55	8662,953	199,60	9458,12	9258,52
2014	302,35	0	-302,35	302,35	0	-302,354	199,60	0	-199,60
2015	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	353,73	0	-353,73
2016	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2017	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2018	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2019	199,60	0	-199,60	199,60	0	-199,598	199,60	0	-199,60
2020	199,60	6329,89	6130,29	199,60	6699,11	6499,51	199,60	7080,61	6881,01

Na Tabela 27 estão apresentados os valores totais de implantação, manutenção e custo da terra utilizados no cálculo de custos dos arranjos de plantio 5x2, 3,3x3 e 3x2 m, com ciclo de produção de 21 anos. Nota-se, nesta Tabela, o maior custo de implantação e manutenção no espaçamento 3x2 m, em virtude do maior número de mudas, seguido pelo espaçamento 3,3x3 m, com maior número de sulcos em relação ao espaçamento 5x2 m.

Tabela 27 Resumo dos valores totais gastos na implantação e na condução dos arranjos tradicionais de plantio de eucalipto por ciclo de 21 anos, em reais (R\$) por hectare

Discriminação	Ano	Espaçamento		
		5x2	3,3x3	3x2
Implantação eucalipto	0	2260,86	2435,13	2734,26
Manutenção eucalipto	1 a 20	1864,63	1864,63	2168,92
Custo da terra	1 a 20	2997,06	2997,06	2997,06
Total		7122,55	7296,82	7900,24

O valor presente líquido infinito (VPL_{∞}) para cada arranjo é mostrado na Tabela 28. Ao contrário do que foi observado na exploração com um único corte aos 11 anos, a maior densidade de plantio melhorou o resultado econômico, com maior VPL_{∞} encontrado para o espaçamento de plantio 3x2 m. Para os espaçamentos 3,3 e 5x2 m, com mesma densidade de plantio, o melhor resultado econômico foi observado no espaçamento 3,3 m, com menor retangularidade, tendência também encontrada por Silva (2005).

Comparando-se os resultados dos sistemas agroflorestais com os sistemas tradicionais, observa-se que o melhor resultado dos sistemas agroflorestais (3x4+7+10) foi ligeiramente superior ao melhor resultado do sistema adensado (3x2 m), apresentando um VPL_{∞} de R\$ 10.840,07 para o sistema agroflorestal e R\$ 10.525,84 para o plantio de espaçamento 3x2 m.

Tabela 28 Valor presente líquido infinito (VPL_{∞}) e tempo de exploração considerado em função dos tratamentos agrossilvipastoris explorados em 11 anos e uma simulação da exploração tradicional com três cortes rasos em 21 anos

Tratamento	VPL_{∞}	Tempo
	R\$ ha ⁻¹	anos
10x4	10499,54	11
10x3	8986,88	11
3x3+15	6260,48	11
3x4+7+10	10840,07	11
3x4+10	6258,60	11
10x2	8972,85	11
3x4+7	5189,95	11
3x3+10	4279,55	11
5x2	7084,85	21
3,3x3	10172,90	21
3,3x2	10525,84	21

Nota-se também, na Tabela 28, que os quatro melhores resultados econômicos foram alcançados por dois sistemas agroflorestais de maiores espaçamentos (3x4+7+10 e 10x4) e por dois sistemas convencionais mais adensados (3x2 e 3,3x3), sendo que os demais arranjos testados tiveram o desempenho econômico no mínimo 10% inferior ao dos quatro primeiros, indicando que estes espaçamentos são contraindicados tanto para a produção florestal pura quanto para sistemas agroflorestais.

Analisando-se os sistemas como um todo é possível perceber a maior complexidade dos sistemas agroflorestais, necessitando, além do maior investimento, de um acompanhamento em termos de execução de atividades, manutenção do sistema e comercialização, muito maior que o necessário para os sistemas tradicionais de exploração. Dessa forma, o pequeno diferencial positivo encontrado para o sistema agrossilvipastoril é, provavelmente, insuficiente para cobrir as eventuais despesas administrativas extras. Dessa forma, esse tipo de

exploração é mais indicado para aqueles produtores que já tenham como base de suas atividades a exploração agropecuária e tenham como perspectiva de mercado, primordialmente, os produtos que exijam madeiras de maior diâmetro ou aqueles que tenham dificuldade de colocação para madeiras mais finas e de desbaste. Para as empresas florestais, a opção de trabalhar apenas com os sistemas puros de plantio parece ser a melhor opção.

6 CONCLUSÕES

- a) os diferentes arranjos de plantio influenciam os parâmetros silviculturais diâmetro à altura do peito, altura de plantas e, conseqüentemente, todas as relações entre estas;
- b) arranjos de plantio diferentes, com a mesma densidade de plantas, têm comportamentos de crescimento diferentes;
- c) arranjos de linhas duplas aumentam a competição entre plantas e geram árvores de menor diâmetro em relação aos arranjos de linhas simples e combinações de linhas simples e duplas com mesma densidade de plantio;
- d) o volume de madeira para serraria é proporcional à densidade de plantas. Dessa forma, os espaçamentos com mais de 350 plantas por hectare, sem a presença de linhas simples, produzem madeira de diâmetro intermediário, pouco aproveitada para serraria;
- e) os sistemas agrossilvipastoris são economicamente viáveis;
- f) os tratamentos com espaçamentos mais adensados (3x2 e 3,3 m) em rotação de 21 anos e o menos adensado (10x4m), juntamente com o espaçamento conjugado (3x4+7+10) com linhas duplas e simples no sistema agrossilvipastoril, proporcionam os melhores resultados econômicos, descredenciando os tratamentos intermediários sem a prática de desbaste para este tipo de exploração;
- g) o melhor arranjo de plantio para a produção de madeira visando múltiplos produtos foi obtido no arranjo combinado de linhas duplas e simples (3x4) +7+10.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais: climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, jun. 1986.
- ASSIS, A. L. et al. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 20-40, 2001.
- ASSIS, R. L. et al. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico de 2011, ano base 2010**. Disponível em www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf. Acesso em: 25 nov. 2010.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.
- BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Ciência Florestal**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas** (1961-1990). Brasília, 1992. 84 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2009/2010 a 2019/2020**. Brasília, 2010. 76 p.
- BRUM, E. T. **Relações entre altura dominante e fatores do sítio empovoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte**. SC. 1979. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

CAMPOS, J. C. C. et al. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 14 n. 2, p. 119 - 133, 1990.

CASTRO, R. R. et al. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão de vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, out./dez. 2007.

CHAVES, R. Espaçamento em *Eucalyptus*. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 3., 1997, Colombo. **Resumos...** Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 180- 185.

CORDEIRO, S. A. **Avaliação econômica e simulações em sistemas agroflorestais**. 2010. 85 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

CORREA, L. O. **Ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal com espécies frutíferas e florestas em Rondônia, Brasil**. 2005. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

COUTO, H. T. Z. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: LCF/ESALQ/USP, 1995. p. 20-30.

DEMOLINARE, R. A. **Crescimento de plantios clonais de eucalipto não-desbastados**. 2006. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

DIAS, A. N. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p.731-740, 2005.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.

DIAS FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. **Barreiras à adoção de sistemas silvipastoris no Brasil**. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 22 p. (Documentos, 347).

DIAS FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais debradadas. In: SIMPÓSIO DA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ:UFPB, 2006. p. 535-553.

DUBÊ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com Eucalyptus sp. no noroeste do Estado de Minas Gerais**: o caso da Companhia Mineira de Metais. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

FERREIRA, T. C. **Análise econômica de plantios de eucalipto para a produção de celulose**. 2001. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

GARCIA, R.; ANDRADE, C. M. S. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários**: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 2001. p.173-187.

GUERRA, A. R. **Atributos de solo sob coberturas vegetais em sistema silvipastoril em Lavras – MG**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura prática**. Barcelona:Omega, 1972. 192 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**: a pecuária. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/default.shtm>> . Acesso em: 25 mar. 2011.

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

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

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

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2003. 137 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

LOURENZANI, W. L.; LOURENZANI, A. E. B. S. Potencialidades do agronegócio brasileiro do amendoim. In: CONGRESSO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 44., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006. 1 CD ROM.

MACEDO, R. L. G. et al. Caracterização e manejo dos principais sistemas silvipastoris e grossilvipastoris. In: MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. p. 94-141.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 2010. 331 p.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 1, n. 202, p. 99-109, 2000.

MAESTRI, R.; NUTTO, L.; SARTORIO, R. C. Ganhos tecnológicos na produção de madeira reflorestada sob manejo. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA A INDÚSTRIA MOVELEIRA, 3., 2005, Vitória. **Anais...** Vitória: SIF, 2005. v. 1, p. 1-19. Disponível em: <<http://www.sif.org.br>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedência de *eucalyptus* na região noroeste de minas gerais. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MALAN, F. S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 163, p. 13-20, 1992.

MARTHA JÚNIOR, G. et al. Estilo de desenvolvimento da agropecuária e desafios futuros. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, p. 93-106, jul. 2010. Edição especial.

MATOS, M. A. et al. A elevação dos preços das *commodities* agrícolas e a questão da agroenergia. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 9, set. 2008.

MONTE, M. A. et al. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 777-787, 2009.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MUELLER, C.; MUELLER, B. **The evolution of agriculture and land Reform in Brazil, 1950 – 2006**. 2006. Disponível em: <<http://www.economics.illinois.edu/docs/seminars/conferences/baer/the-evolution-of-agriculture-and-land-reform-in-brazil.doc>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

NAVARRO, Z. Meio século de transformação do mundo rural brasileiro e a ação governamental. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, p. 107-118, jul. 2010. Edição Especial.

NEPOMUCENO, A. N.; SILVA, I. C. Caracterização de sistemas silvipastoris da Região Noroeste do Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 279-287, 2009.

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

OLIVEIRA, T. K. **Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado**. 2005. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2010-2019**. Paris, 2010. 247 p. Disponível em : http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/Outlookflyer.pdf>. Acesso em: 20 out. 2011.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento**. 1986. 192 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1986.

PEREIRA, J. C. D.; AHRENS, S. Efeito da desrama sobre a espessura e a densidade da madeira de anéis de crescimento de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 46, p. 47-56, jan./jun. 2003.

PESSOA, A. **A crise agrícola: saída à vista, herança a prazo**. 2006. Disponível em: <http://www.granos.agr.br/stored/1202822188_23854.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2010.

PIRES, B. M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria e fabricação de móveis**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

POLLI, H. Q. et al. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, p. 557-566, 2006.

PORFÍRIO DA SILVA, V. A integração lavoura-pecuária-floresta como proposta para mudança do uso da terra. In: FERNANDES, E. N. (Org.). **Novos desafios para o leite do Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 197-210.

PORFÍRIO DA SILVA, V. O Sistema silvipastoril e seus efeitos para a sustentabilidade da pecuária. In: SIMPÓSIO ABCZ-CNPC PECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Uberaba. **Anais...** Uberaba: [s. n.], 2009. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/safs/sist_silvipastoril_sust.pdf>. Acesso em: 20 out. 2010.

PORFÍRIO DA SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea + pastagem): uma proposição para o aumento da produção do arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAISES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. v. 2, p. 291-297. (Documentos, 27).

QUEIROZ, D. et al. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 183-199, 2006.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris**: aspectos da pesquisa com eucalipto e grevilea nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 40 p. (Documentos, 191). Disponível em: <www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/Doc191.pdf>. Acesso em: 10 maio 2011.

RESENDE, M. D. V.; FANTINI JÚNIOR, M. **Bifurcação e quebra de copa em eucalipto: efeitos genéticos, ambientais e silviculturais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20 p. (Documentos, 63). Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc63.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2011.

REZENDE, G. C. Ocupação agrícola, estrutura agrária e mercado de trabalho rural no cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e das políticas públicas. In: HELFAND, S. M.; REZENDE, G. C. (Ed.). **Região e espaço no desenvolvimento agrícola brasileiro**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. p. 173-212.

RIBASKI, S. A. G.; HOEFLICH, V. A.; RIBASKI, J. Sistemas silvipastoris como apoio ao desenvolvimento rural para a região Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 27-37, dez. 2009.

ROMANO, P. A. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 7-15, jul./ago. 2010.

RUAS, D. T. et al. A Economia e o agronegócio no Brasil e sul do Brasil: observatorio de la economía latinoamericana. **Revista Acadêmica de Economia**, Rio de Janeiro, n. 105, 2008. Disponível em: <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 129-140, 1998.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal**: planejamento da produção florestal. Santa Maria: UFSM, 2004. 492 p.

SCHONAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacings, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 29, p. 245-66, 1989.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **Desbastes e desrama para obter madeira de pinus livre de nós**. 2007. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 24 maio 2007.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 438 p.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 2, p. 507-512, 1974.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, 1989.

SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de Eucalyptus na região nordeste do Estado de São Paulo**. 2005. 50 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-30012006-160900/>>. Acesso em: 3 ago. 2011.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000600012&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 jan. 2012.

SMITH, W. D.; STRUB, M. R. Initial spacing: how many trees to plant. In: DURYEY, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual**. Netherlands: Kluwer Academic, 1991. p. 281-289.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. A.; VALE, A. B. Avaliação econômica de povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 689-694, 2003.

SOARES, T. S. et al. Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 481-486, 2003.

SOUZA, A. N. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.* em sistemas agroflorestais**. 2005. 203 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SOUZA, A. N. et al. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, Lavras, v.13, p. 96-106, 2007.

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

VALE, R. S. et al. Análise da produtividade de sistemas agroflorestais com eucalipto na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 7., 2009, Luziânia. **Diálogo e integração de saberes em sistemas agroflorestais para sociedades sustentáveis: trabalhos**. Brasília: Embrapa, 2009. 1 CD ROM.

VENTURIN, R. P. et al. Sistemas agrossilvipastoris: origem, modalidades e modelos de implantação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 16-24, jul./ago. 2010.