

RODOLFO ALVES BARBOSA

**CRESCIMENTO DE CLONE DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS
AMPLOS COM VARIAÇÃO NA DISTÂNCIA ENTRE PLANTAS NA LINHA
DE PLANTIO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Barbosa, Rodolfo Alves, 1989-
B238c Crescimento de clone de Eucalipto em espaçamentos
2015 amplos com variação na distância entre plantas na linha de
plantio / Rodolfo Alves Barbosa. – Viçosa, MG, 2015.
ix, 37f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Agrossilvicultura. 2. Cultivo consorciado. 3. Eucalipto -
Medição. 4. Eucalipto - Crescimento. 5. Soja - Cultivo.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.99

RODOLFO ALVES BARBOSA

**CRESCIMENTO DE CLONE DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS
AMPLOS COM VARIAÇÃO NA DISTÂNCIA ENTRE PLANTAS NA LINHA
DE PLANTIO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 29 de Setembro 2015

Prof^ª. Maria das Graças Ferreira Reis
(Coorientador)

Prof. Helio Garcia Leite
(Coorientador)

Prof. Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

Aos meus pais Roberto e Rosa
Ao meu irmão Rafael (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais Roberto e Rosa, pelo amor incondicional. Ao meu irmão Rafael (*in memoriam*) por sempre me amar e me mostrar o valor da natureza.

Aos professores, Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, pela orientação, ensinamentos transmitidos e pela amizade.

Ao professor Helio Garcia Leite, pela atenção e ajuda para a realização deste trabalho e pela formação profissional.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal, pela ajuda na coleta e processamento dos dados e, também, pela grande amizade, em especial: Diogo, Emerson, Felipe, Guilherme, Junio, Jônio, Hortênsia, Mariana, Marcus, Ranieri, Ronan e os que instalaram o experimento: Carlos Henrique, Diego e Frederico.

Aos amigos das repúblicas onde morei: Allan, Fabrício, George, Guilherme, João Carlos, Manoel, Michell, Rafael, Rodrigo e outros pela amizade.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal pela excelência no ensino e estrutura de pesquisa e pela dedicação dos professores.

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG, pelo apoio e fomento à pesquisa.

À Votorantim Siderurgia S.A., pela disponibilização da área experimental e apoio logístico.

Aos amigos Bruce, Carlos, Fabrício e Rafael que me instruíram e me ajudaram na realização deste trabalho.

Ao contribuinte brasileiro, pela educação pública que recebi por toda a minha vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

RODOLFO ALVES BARBOSA, filho de Roberto de Souza Barbosa e Rosa Maria Alves Barbosa, nasceu no município de Manhuaçu, Minas Gerais, em 9 de Janeiro de 1989.

Em Fevereiro de 2004, ingressou no Curso Técnico em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (EAFSA-ES), concluindo o curso em dezembro de 2006.

Em março de 2007, ingressou no Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em novembro de 2012.

Em Agosto de 2013, ingressou no Curso de Mestrado em Ciência Florestal do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, concluindo os requisitos indispensáveis pela obtenção do título de *Magister Scientiae* em Setembro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Gerais	3
2.2. Específicos.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	3
4. RESULTADOS	11
5. DISCUSSÃO.....	20
6. CONCLUSÕES.....	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

RESUMO

BARBOSA, Rodolfo Alves, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2015. **Crescimento de clone de eucalipto em espaçamentos amplos com variação na distância entre plantas na linha de plantio.** Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Helio Garcia Leite

O objetivo do presente estudo foi subsidiar a escolha de arranjos espaciais de eucalipto em sistemas agroflorestais (SAF) com a análise do crescimento, produção e índice de área foliar (IAF) do componente arbóreo, produção de soja do consórcio, e análise econômica do sistema na região de cerrado, MG. O clone 58 foi implantado com a distância de 9,5 m entre linhas de plantio, com variação na distância entre plantas na linha de plantio (9,5 x 1,5 m; 9,5 x 2,0 m; 9,5 x 3,0 m e 9,5 x 4,0 m), em consórcio com soja (*Glycine max* (L.) Merrill). O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições e vinte plantas por repetição. O diâmetro à altura de 1,3 m (*dap*) e a altura média das árvores foi avaliada aos 14, 38 e 51 meses após o plantio. O IAF foi medido em três repetições, aos 15, 38 e 51 meses após plantio, nas seguintes posições: entre as plantas na linha de plantio (locais 1 e 6), debaixo da copa das árvores (locais 2 e 5) e na entrelinha onde foi implantada a cultura agrícola (locais 3 e 4). A produção de grãos de soja plantada na segunda estação chuvosa foi amostrada aos 23 meses de idade. Os critérios econômicos analisados foram o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o benefício periódico equivalente (B(c)PE) com taxas de desconto de 8 e 10%. O crescimento em altura das árvores não foi afetado pelo arranjo de plantio ($p > 0,05$). Os arranjos com maior distância entre plantas na linha de plantio apresentaram maior diâmetro ($p \leq 0,05$) e, conseqüentemente, maior volume por planta, além de ter tido maior proporção de árvores nas maiores classes de diâmetro. A área basal foi influenciada pelo diâmetro e número de plantas por área, e foi maior nos arranjos 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m. O volume por hectare foi maior no arranjo 9,5 x 1,5 m. O IAF médio aumentou 50,46 %, 109,09%, 347,22% e 172,88%, respectivamente, para os arranjos 9,5 x 1,5 m, 9,5 x 2,0 m, 9,5 x 3,0 m e 9,5 x 4,0 m, entre 15 e 38 meses; entre 38 e 51 não houve alteração no IAF médio. No arranjo 9,5 x 4,0m foram observados baixos valores de IAF em todas as idades de avaliação, o que implica maior transmitância da radiação solar no SAF, e possivelmente maior produtividade de soja consorciada neste arranjo espacial (2496,48 kg ha⁻¹), assim

como a menor competição pelas raízes devido ao menor número de indivíduos por unidade de área. Os arranjos espaciais 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m tiveram toda a madeira produzida destinada para energia. Estes arranjos não foram viáveis, economicamente, devido ao baixo valor de mercado pago à madeira destinada a esse uso. A implantação do SAF no arranjo 9,5 x 4,0 m teve o menor custo de implantação e maior lucro com a cultura de soja. O consórcio estudado tornou-se economicamente viável com a destinação da madeira para multiprodutos (energia + serraria), adotado nos arranjos 9,5 x 3,0 m e 9,5 x 4,0 m.

ABSTRACT

BARBOSA, Rodolfo Alves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2015. **Eucalypt clone growth in wide spacing with varying distances between plants in the row.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-Advisers: Maria das Graças Ferreira Reis and Helio Garcia Leite.

The aim of this study was to subsidize the choice of tree planting spatial arrangement to establish an agroforestry system (AGF) with eucalypt clone in the savannah region, MG. It was obtained the growth, production and leaf area index (LAI) of the tree component, in addition to the production of the soybean in the consortium. An economical analysis was performed for the whole system. The eucalypt clone 58 was established with the distance of 9.5 m between plant rows, with variation in the distance between plants in the row (9.5 x 1.5 m, 9.5 x 2.0 m, 9.5 x 3.0 m 9.5 x 4.0 m), in a consortium with soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). The experiment followed a completely randomized design with eight replications and twenty plants per plot. The diameter at 1.3 m (*dbh*) and the mean tree height were assessed at 14, 38 and 51 months after planting. The LAI was measured in three replicates at 15, 38 and 51 months after planting, in the following positions: between plants in the row (positions 1 and 6), under the tree canopy (positions 2 and 5) and between trees in the planting row (positions 3 and 4). The production of the soybean planted in the second rainy season was sampled at 23 months old. The economic criteria were the net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and the equivalent periodic benefit (B (c) PE) at discounted rates of 8 and 10%. Tree planting arrangement did not affect ($p > 0.05$) height growth. Arrangements with greater distance between plants in the row had higher ($p = 0.05$) diameter, volume per plant, and proportion of trees in larger diameter classes. The basal area was influenced by diameter and number of trees per area, and was higher in the arrangements 9.5 x 1.5 m and 9.5 x 2.0 m. The volume per hectare was higher for the 9.5 x 1.5 m arrangement. The mean LAI increased 50.46%, 109.09%, 347.22% and 172.88%, respectively, for the arrangements 9.5 x 1.5 m, 9.5 x 2.0 m, 9.5 x 3.0 m and 9.5 x 4.0 m, between 15 and 38 months; between 38 and 51 months there was no change in mean LAI. LAI values were the lowest at all ages, in the arrangement 9.5 x 4.0 m. This result in higher transmittance of solar radiation in the AGF, which may explain the high soybean yield (2.496 kg ha⁻¹) in the consortium with this spatial arrangement. For the spatial

arrangements 9.5 x 1.5 m and 9.5 x 2.0 m, all timber produced was designated for energy and the consortium was not considered viable due to the low price of wood for energy. The implementation of the AGF in the arrangement 9.5 x 4.0 m had the lowest cost of deployment and greater profit from soybean in the consortium. The consortium became economically viable when there was allocation of wood for multiproduct (energy + sawmill), as adopted in the arrangements 9.5 x 3.0 m and 9.5 x 4.0 m.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem uma participação efetiva na economia do País. Contribui com mais de 6,6 bilhões de dólares para a balança comercial e gera em torno de 4,2 milhões de empregos diretos e indiretos (IBÁ, 2015). Diante deste cenário, os povoamentos de eucalipto são importantes, uma vez que podem ter usos múltiplos e multiprodutos indispensáveis à sociedade. Os plantios de eucalipto perfazem, cerca de 5,5 milhões de hectares, o que corresponde a 72% da área plantada com espécies arbóreas, onde se destaca Minas Gerais, com 1,4 milhões de hectares (IBÁ, 2015). A capacidade de adaptação dos diferentes genótipos de eucalipto a diversos ambientes e os avanços obtidos na silvicultura com a implantação e manejo dos plantios, permitiram a obtenção de povoamentos produtivos em todo o território nacional (SANTANA et al., 2000, 2008; GATTO et al., 2003; STAPE et al., 2010; GONÇALVES et al., 2013; SANTOS et al., 2015).

Grande parte dos povoamentos florestais de eucalipto tem sido estabelecida em espaçamentos que variam entre 6 a 12 m² planta⁻¹ (BERNARDO et al., 1998, GONÇALVES et al., 2004; STAPE et al., 2010; CAMPOE et al., 2013). Existem, porém, povoamentos florestais com variados arranjos espaciais para um mesmo espaçamento, com implicações sobre o crescimento, manejo e colheita das árvores (GONÇALVES et al., 2004; SILVA, 2001; MELIDO, 2012; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2015; LEITE et al., 2014).

Nos últimos anos, tem crescido o uso de espaçamentos mais amplos, de modo a possibilitar o estabelecimento de consórcio com culturas agrícolas e/ou forrageiras em Sistemas Agroflorestais (SAF) (MACEDO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008, 2009; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2015). O genótipo, a destinação da madeira e o interesse em estabelecer esses consórcios devem ser considerados na escolha do espaçamento e arranjos das árvores (OLIVEIRA NETO et al., 2010). As variações no arranjo das árvores modificam o grau de competição intraespecífica, bem como a interespecífica, com as culturas consorciadas, ou seja, afetam a aquisição e o uso dos recursos de crescimento (BURNER; BRAUER, 2003; OLIVEIRA et al., 2007; PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA, 2015).

O plantio de eucalipto na região de cerrado, onde há uma distribuição irregular da precipitação, solos ácidos e de baixa fertilidade natural, demandam a escolha de genótipos específicos para obtenção de elevada produtividade. O

Eucalyptus camaldulensis e seus híbridos têm sido recomendados em SAF para serem estabelecidos nesta região por apresentar tolerância ao déficit hídrico (LELES et al., 1998), além de possuir copa rala, com galhos finos e pendentes, facilitando a transmitância da radiação ao longo do dossel (BERNARDO et al., 1998; OLIVEIRA, 2015) e, por apresentar raízes mais profundas (REIS; HALL, 1987; LELES et al., 1998; REIS et al., 2006).

Em um consórcio, a maior distância entre as árvores na entrelinha de plantio favorece a produção das culturas do SAF (PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014). A maior proximidade das árvores na linha de plantio pode acelerar a competição entre elas, principalmente em razão do rápido fechamento das copas (KRUSCHEWSKY et al., 2007; LELES et al., 2001; OLIVEIRA NETO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2009).

Os espaçamentos que mantenham maior distância entre as plantas na linha de plantio podem favorecer o crescimento em diâmetro e o volume individual das árvores (PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014; CARDOSO et al., 2013), o que seria mais recomendado para a produção de laminados, serrados e postes, em rotação mais longa (LELES et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2009).

A disposição das árvores na linha e na entrelinha de plantio interfere diretamente na disponibilidade de radiação para as plantas consorciadas. Através da determinação do índice de área foliar (IAF) é possível estimar a interceptação da radiação pelos povoamentos florestais (XAVIER et al., 2002; WILL et al., 2005; CHAVES et al., 2007; ALMEIDA et al., 2007, 2010; FONTAN et al., 2011; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015), auxiliando na definição de técnicas de manejo dos componentes do SAF para manter elevada produção das árvores e da cultura agrícola.

Na maioria dos estudos sobre arranjos espaciais do componente arbóreo, tem havido maior preocupação em avaliar a produção das árvores (KRUSCHEWSKY et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009). No entanto, a análise da produção das culturas consorciadas é de importância para avaliar a rentabilidade do SAF, pois a produção adequada da cultura agrícola, ou pastagem, pode melhorar a distribuição de renda, diminuir os riscos econômicos e obter maior eficiência no uso da terra (MONIZ, 1987; PASSOS, 1996; CECON et al., 1999; VALE et al., 2004; PRASAD et al., 2010; DUBÈ et al., 2002; ALVARENGA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

2. OBJETIVOS

2.1. Gerais

Avaliar o efeito de arranjos espaciais, com variação na distância entre plantas na linha de plantio, sobre o crescimento de um clone de *E. camaldulensis* x *E. grandis* e a produção de soja, em um sistema agroflorestal, na região de Cerrado.

2.2. Específicos

Avaliar o crescimento e a produtividade de um clone de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, aqui denominado de clone 58, em quatro arranjos espaciais para auxiliar na melhor destinação da madeira do SAF.

Avaliar o efeito dos arranjos espaciais sobre o IAF e, conseqüentemente, sobre a transmitância da radiação fotossinteticamente ativa, através da avaliação do IAF em diferentes posições, na linha e na entrelinha de plantio.

Avaliar a produtividade da soja (*Glycine max* (L.)Merrill) consorciada nas entrelinhas de plantio do eucalipto, com variação na distância entre plantas na linha de plantio.

Realizar análise econômica e, a partir de indicadores, definir o arranjo a ser adotado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em povoamento do clone 58 (híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*) na Fazenda Bom Sucesso da Votorantim Siderurgia S.A., no Município de Vazante, MG (17°36'09"S, 46°42'02"W e altitude de 550 m). O clima da região é o Aw (Köppen), com inverno seco e verão chuvoso. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura argilosa, fase cerrado, de baixa fertilidade e elevada acidez (EMBRAPA SOLOS, 2006). A temperatura média anual é de 26,5°C; a precipitação média anual é de 1.350 mm, com déficit hídrico de 480 mm, no período de março a outubro (Figura 1) (SOUZA, 2011).

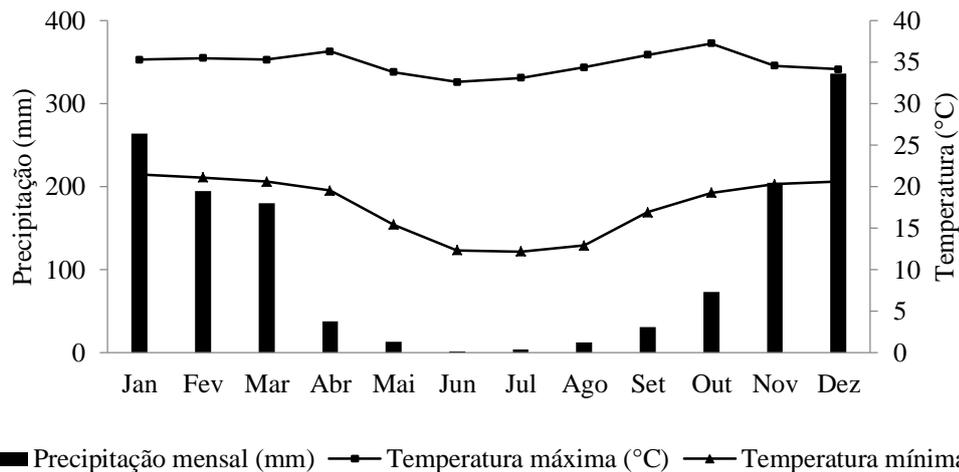


Figura 1. Médias de precipitação mensal e temperaturas máxima e mínima na área experimental, no período de 1999 a 2009.

Foram utilizados quatro arranjos espaciais: 9,5 x 1,5 m (14,25 m² planta⁻¹) (T1); 9,5 x 2,0 m (19 m² planta⁻¹) (T2); 9,5 x 3,0 m (28,5 m² planta⁻¹) (T3) e 9,5 x 4,0 m (38 m² planta⁻¹) (T4) (Figura 2). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com oito repetições para cada arranjo espacial. A parcela útil foi constituída de duas linhas centrais, com 10 plantas cada, com bordadura simples. A distância de 9,5 m na entrelinha foi mantida constante em todos os tratamentos, havendo variação apenas na distância das plantas na linha de plantio. A distância na entrelinha de plantio foi determinada em função do maquinário utilizado no plantio e colheita da cultura agrícola e florestal.

Foram aplicados 4 litros de glifosato por hectare, para controle da vegetação da área (predominantemente braquiária) e, após a dessecação, foi realizada gradagem pesada em toda área, seguida de duas gradagens niveladoras, com incorporação de 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico zinal (85% de PRNT) para o plantio do eucalipto. A subsolagem foi realizada na linha de plantio do eucalipto (30-40 cm de profundidade), com incorporação de 150 Kg de fosfato reativo de gafsa ha⁻¹ com o próprio subsolador. A adubação de plantio do eucalipto foi de 130 g planta⁻¹ de NPK 10-28-06 + 0,5% de Zn + 0,3% B, colocados após o plantio, em covetas laterais, com matraca, a 10 cm de profundidade, dos dois lados da muda. Em fevereiro de 2006, realizou-se a adubação de cobertura do eucalipto (20 g planta⁻¹, 10 g de cada lado) de Borogram (10% B) em covetas laterais.

O plantio da soja (*Glycine max* L.Merrill) foi realizado na estação chuvosa subsequente, após a aplicação de 1,8 l ha⁻¹ do herbicida à base de trifluralina

(herbicida seletivo pré ermegente), e o preparo da área com duas gradagens niveladoras. A adubação para a cultura da soja consistiu-se de 500 g planta⁻¹ de NPK 02-30-15 + 0,3% de B. A soja foi plantada a partir de 1 m de distância da árvore de cada lado da linha, ou seja, numa faixa de 7,50 m na entrelinha de plantio do eucalipto.

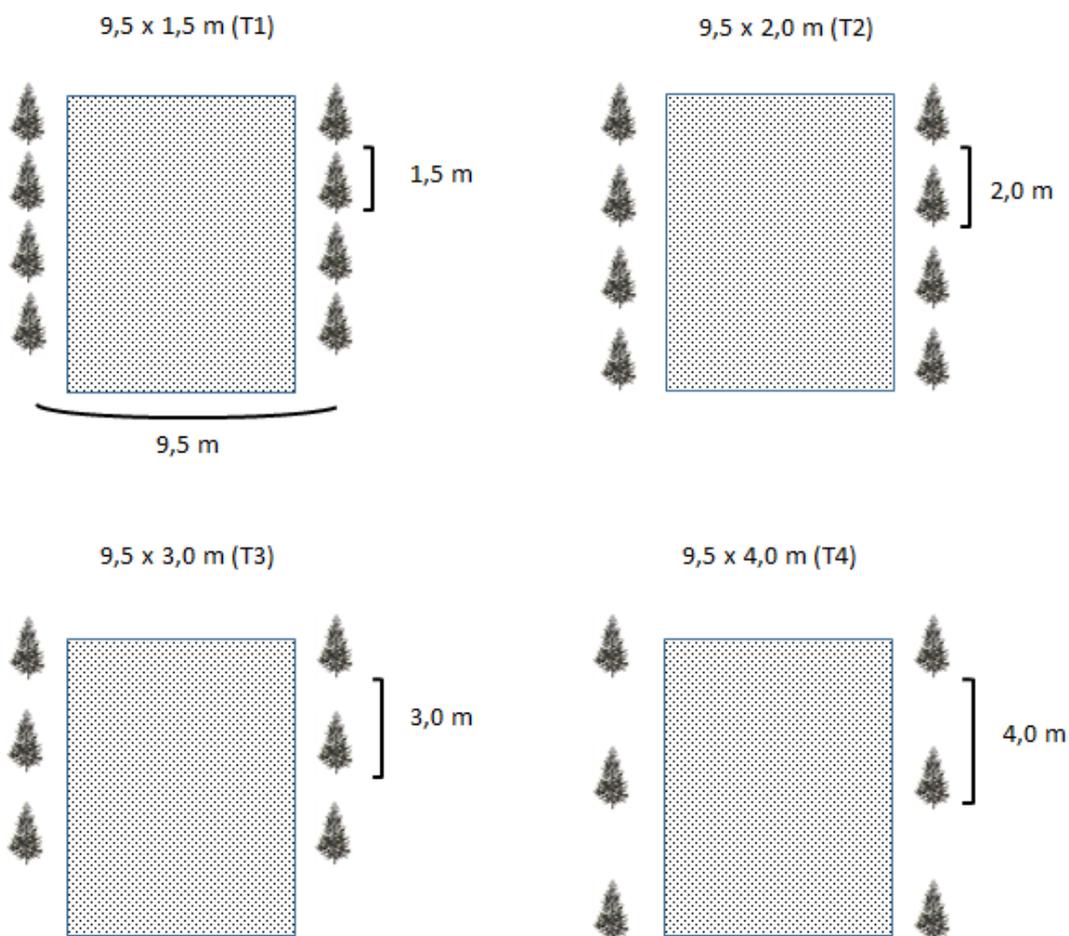


Figura 2. Representação esquemática dos diferentes arranjos espaciais do clone 58, tendo na área central a área ocupada pelo plantio da cultura agrícola (soja) em Vazante, MG

Aos 15, 38 e 51 meses após o plantio foram realizadas leituras para a obtenção do IAF, com o analisador de dossel Licor LAI-2000. Foram utilizados dois sensores: um foi instalado em área aberta próxima ao povoamento e, o outro, utilizado para as medições no interior do povoamento, a 0,5 m da superfície do solo. As leituras foram feitas sob luz difusa, ao amanhecer ou no final da tarde (XAVIER et al., 2002; CHAVES et al., 2007). As medições no interior do povoamento foram tomadas em seis posições distintas considerando as duas linhas de cada parcela útil, com três repetições (Figura 3). Duas posições foram obtidas no ponto intermediário

entre as plantas na linha (pontos 1 e 6). Na entrelinha, foram avaliados quatro pontos, sendo dois debaixo da copa da árvore a 0,5 m de distância do tronco (pontos 2 e 5) e dois na área central da entrelinha, a 2 m da árvore (pontos 3 e 4), na área de implantação da cultura agrícola.

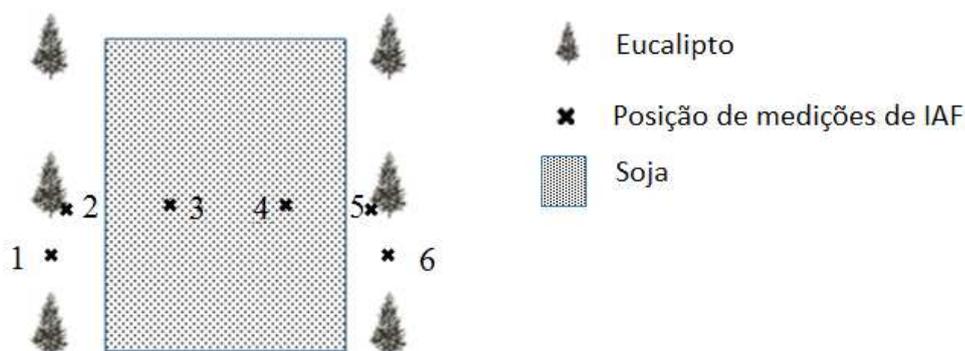


Figura 3. Perfil esquemático mostrando os pontos de coleta de IAF do povoamento do clone 58 de eucalipto, nas parcelas experimentais, em Vazante, MG

A amostragem de soja produzida foi feita quando o eucalipto apresentava 23 meses de idade, em três repetições, em parcelas amostrais de 0,50 m de largura x 3,75 m de comprimento. O comprimento da parcela corresponde à metade da distância com plantio de soja nas entrelinhas de plantio do componente arbóreo. As áreas de amostragem da soja foram alocadas a partir da linha central da parcela, sendo que uma área ficou entre a segunda e a terceira plantas, do lado esquerdo e, a segunda área ficou na direção da oitava árvore da linha central, do lado direito (Figura 4).

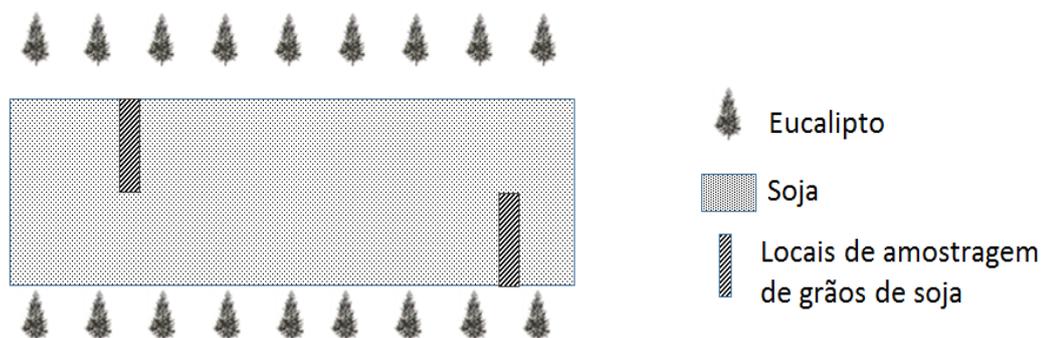


Figura 4. Locais de amostragem da produção de soja (*Glycine Max*), em consórcio com o clone 58 de eucalipto, em diferentes arranjos espaciais, em Vazante, MG

As medições de diâmetro à altura de 1,3 m (*dap*) foram realizadas aos 14, 32, 38 e 51 meses; e da altura total (*Ht*) das árvores foram realizadas aos 14, 38 e 51

meses após o plantio das mudas. Aos 32 meses, foi mensurado apenas o *dap* das árvores, sendo a altura estimada por meio de regressão linear, utilizando a altura mensurada nas demais datas de coleta de dados de crescimento. Aos 51 meses após o plantio, foi feita a cubagem em pé de três árvores por repetição, em três repetições por tratamento, tendo sido realizadas medições às alturas de 0,3; 1,3; 2,3; 3,3 e 4,3 m. O volume com casca foi estimado até a altura de 4,3 m, com base nesses dados e, o volume, a partir de 4,3 m, foi estimado considerando um cone com base igual a última seção medida até a altura total da árvore. A amplitude da altura total (Ht) em todos os espaçamentos e repetições foi de 11,4 a 21,7 m, ou seja, 4,3 m e, em média, cerca de 1/4 de Ht das árvores. Este método de cubagem é suficiente para o presente trabalho porque está sendo comparada a produção em diferentes arranjos espaciais, utilizando o mesmo método de cubagem para todos os tratamentos. A suposição é de que a diferenciação de forma entre os espaçamentos, para um mesmo *dap*, ocorre na base do fuste até à altura de 4,3 m.

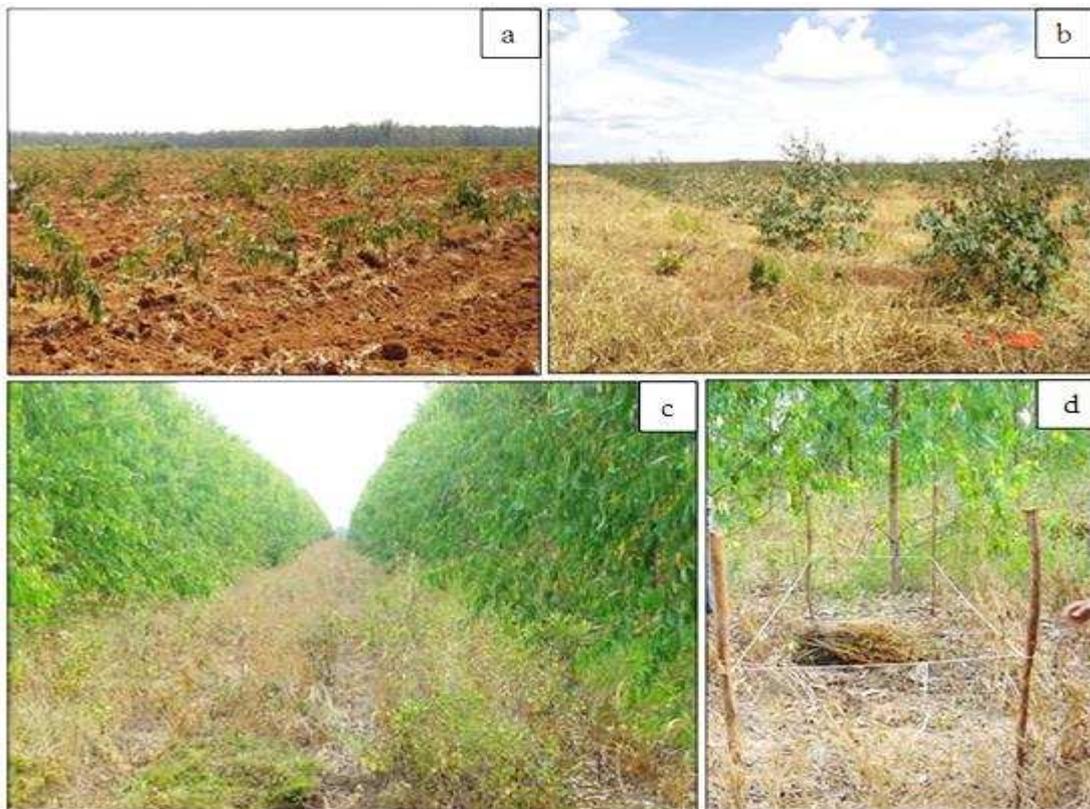


Figura 5. Povoamento do clone 58 disposto nos arranjos espaciais 9,5 x 1,5m (a) e 9,5 x 4,0 m (b), oito meses após o plantio; povoamento do clone 58 disposto no arranjo 9,5 x 1,5 m na época de colheita da soja, 23 meses após o plantio do eucalipto (c) e gabarito para a coleta dos grãos de soja (d)

O volume de madeira, com casca, de cada árvore foi obtido utilizando a fórmula de Smalian até 4,3 m e a fórmula do cone para o restante do fuste; e o modelo volumétrico ajustado foi de Schumacher e Hall (1933):

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1(\ln DAP) + \beta_2(\ln Ht) + \epsilon, \text{ em que:}$$

V = volume por árvore, em m³; dap = diâmetro a 1,3 m de altura, em cm; Ht = altura total, em m, β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; ϵ = erro aleatório.

Para estimar o crescimento em altura foi ajustado o modelo

$$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1(I/i) + \epsilon, \text{ em que:}$$

Ht = altura total da árvore em m, β_0 e β_1 = parâmetros do modelo, i = idade em meses, ϵ = erro aleatório.

Foi ajustado o modelo Logístico para diâmetro, área basal e volume, sendo esses ajustamentos avaliados pelo coeficiente de correlação entre valores observados e aqueles estimados $r_{y\hat{y}}$ e pelo erro padrão residual S_{xy} :

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma I}} + \epsilon, \text{ em que:}$$

Y_i = variável de interesse; α , β e γ = parâmetros do modelo e I = idade em meses, ϵ_i = erro aleatório.

O incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA), foram obtidos a partir das produções estimadas para cada arranjo espacial do plantio até uma idade particular.

A distribuição dos diâmetros e respectivas frequências por hectare, ao longo do período de coleta de dados, foram estudadas empregando a função Weibull de dois parâmetros, para uma amplitude de classes de 1cm.

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta} \right)^\gamma}, \text{ em que:}$$

β e γ são parâmetros da função e X é o centro de classe de diâmetro.

Para estimação do diâmetro máximo foi ajustado o modelo

$$\text{Ln}(dap \text{ max}) = \beta_0 + \beta_1 (1/i) + \epsilon, \text{ em que:}$$

Dap = diâmetro máximo, em cm, β_0 e β_1 = parâmetros do modelo, i = idade em meses, ϵ = erro aleatório.

Com o objetivo de avaliar a igualdade estatística entre as estimativas obtidas pelas curvas de crescimento em diâmetro, área basal e volume, assim como a distribuição diamétrica, foram aplicados testes de identidade de modelos, a 5% de significância.

Os dados de IAF e a produção de grão de soja foram submetidos à análise de variância. Quando ocorreram diferenças significativas pelo teste F, foram realizadas comparações de médias através do teste Tukey ($\alpha = 5\%$).

A análise econômica foi realizada considerando as árvores presentes nos arranjos 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m destinadas para produção de carvão vegetal e, para as árvores presentes nos arranjos 9,5 x 3,0 m e 9,5 x 4,0 m, foi considerada a produção de 40% da madeira destinada à serraria e 60% destinada para produção de carvão. Além disso, foi considerado o preço de venda da madeira em pé, ficando as despesas operacionais, transporte, carbonização, e os custos com serraria para o comprador. O preço do m³ de madeira utilizado foi de R\$ 34,78 para produção de carvão vegetal e R\$ 170,00 para serraria. Os valores monetários correspondem a outubro de 2013, e os dados de custo foram fornecidos pela empresa. Para a soja, o preço de venda foi R\$ 62,67/saca de 60 kg (Conab, 2015).

Tabela 1. Custo para implantação e manutenção do clone 58 de eucalipto e da cultura da soja, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Ítem	Ano	Custos por tratamento (R\$ ha ⁻¹)			
		T1	T2	T3	T4
Eucalipto					
Infra-estrutura	0	382,49	382,49	382,49	382,49
Preparo do terreno	0	1023,99	1023,99	1023,99	1023,99
Adubação	0	554,80	405,98	285,26	218,13
Plantio de árvores	0	787,13	673,21	560,06	503,67
Manutenção das árvores	1	444,17	403,84	363,28	343,23
Manutenção das árvores	2	212,37	212,37	212,37	212,37
Despesas administrativas	1-6	595,94	595,94	595,94	595,94
Manutenção das árvores	3-6	390,94	390,94	390,94	390,94
Total		4391,83	4088,76	3814,33	3670,76
Soja					
Manutenção	1	558,90	558,90	558,90	558,90
Plantio e adubação	1	889,90	889,90	889,90	889,90
Colheita	1	132,00	132,00	132,00	132,00
Total		1580,80	1580,80	1580,80	1580,80

Sendo: T1= 9,5 x 1,5m; T2= 9,5 x 2,0m; T3= 9,5 x 3,0 m e T4= 9,5 x 4,0 m

Os critérios usados para a análise econômica foram: valor presente líquido, valor anual equivalente, relação benefício-custo, taxa de retorno interno. A taxa de desconto será considerada de 8 e 10% por ano onde foi estabelecida a análise envolvendo os indicadores propostos. As expressões usadas para calcular os critérios econômicos foram:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$$

$$\sum_{j=0}^n R_j(1+TIR)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+TIR)^{-j}$$

$$B(c)PE = \frac{VPL((1+i)^t - 1)(1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$$

Onde VPL é o valor presente líquido; TIR é a taxa interna de retorno; B(c)PE é o benefício (custo) periódico equivalente; R é o total de receitas no ano j; C é o custo total no ano j; i é taxa de desconto anual; n é a duração do projeto em anos; t é o número de períodos de capitalização.

4. RESULTADOS

A sobrevivência dos indivíduos do componente arbóreo foi de 94,7% e 97,1%, respectivamente, para 9,5 x 4,0 m e 9,5 x 3,0 m e 100% para os demais arranjos.

As equações ajustadas para volume individual apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,91 ($p < 0,05$) para todos os arranjos espaciais (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros do modelo Schumacher e Hall para o volume individual do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Arranjos espaciais(m ²)	Espaçamento (m ² árvore ⁻¹)	Densidade (árvores ha ⁻¹)	Parâmetros			$r_{\hat{y}y}^{(1)}$	$S_{yx}^{(2)}$
			β_0	β_1	β_2		
9,5 x 1,5 (T1)	14,25	701	-9,18461	1,922161	0,65935	0,9370	0,0601
9,5 x 2,0 (T2)	19,00	526	-8,91474	2,09079	0,41444	0,9194	0,0730
9,5 x 3,0 (T3)	28,50	350	-8,70435	1,024334	1,384659	0,9123	0,0580
9,5 x 4,0 (T4)	38,00	263	-10,6165	2,173237	0,895117	0,9776	0,0397

⁽¹⁾ $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação entre valores estimados e observados; ⁽²⁾ S_{yx} = erro-padrão residual.

Não ocorreram diferenças ($p > 0,05$) no crescimento em altura entre os arranjos espaciais, sendo estabelecida a equação $\ln(Ht) = 3,0443 - 20,5192(1/i) + (1/i) + \epsilon$ para estimar o crescimento em altura nos quatro tratamentos. O coeficiente de correlação ($r_{\hat{y}y}$) foi 0,8162 e o erro padrão residual (S_{yx}) foi 0,1972.

O modelo logístico descreveu adequadamente o crescimento em área basal, volume por árvore, volume por hectare e crescimento em diâmetro médio (Tabela 3).

O crescimento em diâmetro diferiu ($p < 0,05$) entre os arranjos espaciais (Tabela 3 e Figura 6). O arranjo 9,5 x 4,0 m apresentou maior valor assintótico (21,30 cm) e os de maior densidade populacional (9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m) tiveram valores assintóticos relativamente baixos (14,5 e 15,9, respectivamente).

O crescimento em área basal foi maior ($p < 0,05$) para o arranjo 9,5 x 1,5 m ($\alpha = 11,55 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Os arranjos 9,5 x 3,0 m e o 9,5 x 4,0 m, representados pela mesma equação, apresentaram menor valor de área basal ($\alpha = 8,61 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) (Tabela 3 e Figura 6).

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros do modelo Logístico, ajustado para diâmetro médio, área basal, volume por árvore e volume por hectare, e correspondentes coeficientes de correlação e erros padrão residual, para o clone 58 (de eucalipto), em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Tratamento	$\alpha^{(1)}$	$\beta^{(1)}$	$\gamma^{(1)}$	$r_{yy}^{(2)}$	$S_{yx}^{(3)}$	Tratamento	$\alpha^{(1)}$	$\beta^{(1)}$	$\gamma^{(1)}$	$r_{yy}^{(2)}$	$S_{yx}^{(3)}$
----- Diâmetro médio (cm) -----						----- Área basal (m ² ha ⁻¹) -----					
T1	14,4635	8,5764	0,1016	0,9940	0,7592	T1	11,5045	35,1220	0,1179	0,9882	1,0563
T2	15,9281	12,4771	0,1141	0,9994	0,2921	T2	10,4987	43,8189	0,1188	0,9985	0,3380
T3	18,1803	11,0757	0,0975	0,9985	0,4911	T3-T4	8,8433	33,8874	0,0993	0,9869	0,4786
T4	21,3003	11,5644	0,0885	0,9985	0,5648						
----- Volume (m ³ planta ⁻¹) -----						----- Volume (m ³ ha ⁻¹) -----					
T1-T2	0,1718	98,0966	0,1075	0,8959	0,0191	T1	133,3165	75,8005	0,0915	0,9902	3,4006
T3	0,3624	147,6177	0,0935	0,9553	0,0151	T2	93,6251	106,2921	0,1130	0,9995	0,6641
T4	0,3362	305,7364	0,1180	0,8974	0,0297	T3-T4	99,3238	182,3671	0,1031	0,9926	1,9145

T1= 9,5 x 1,5 m; T2= 9,5 x 2,0 m; T3= 9,5 x 3,0 m e T4= 9,5 x 4,0 m; ⁽¹⁾ α , β e γ = Estimativas dos parâmetros do modelo Logístico; ⁽²⁾ r_{yy} = coeficiente de correlação entre valores estimados e observados; ⁽³⁾ S_{yx} = erro-padrão residual.

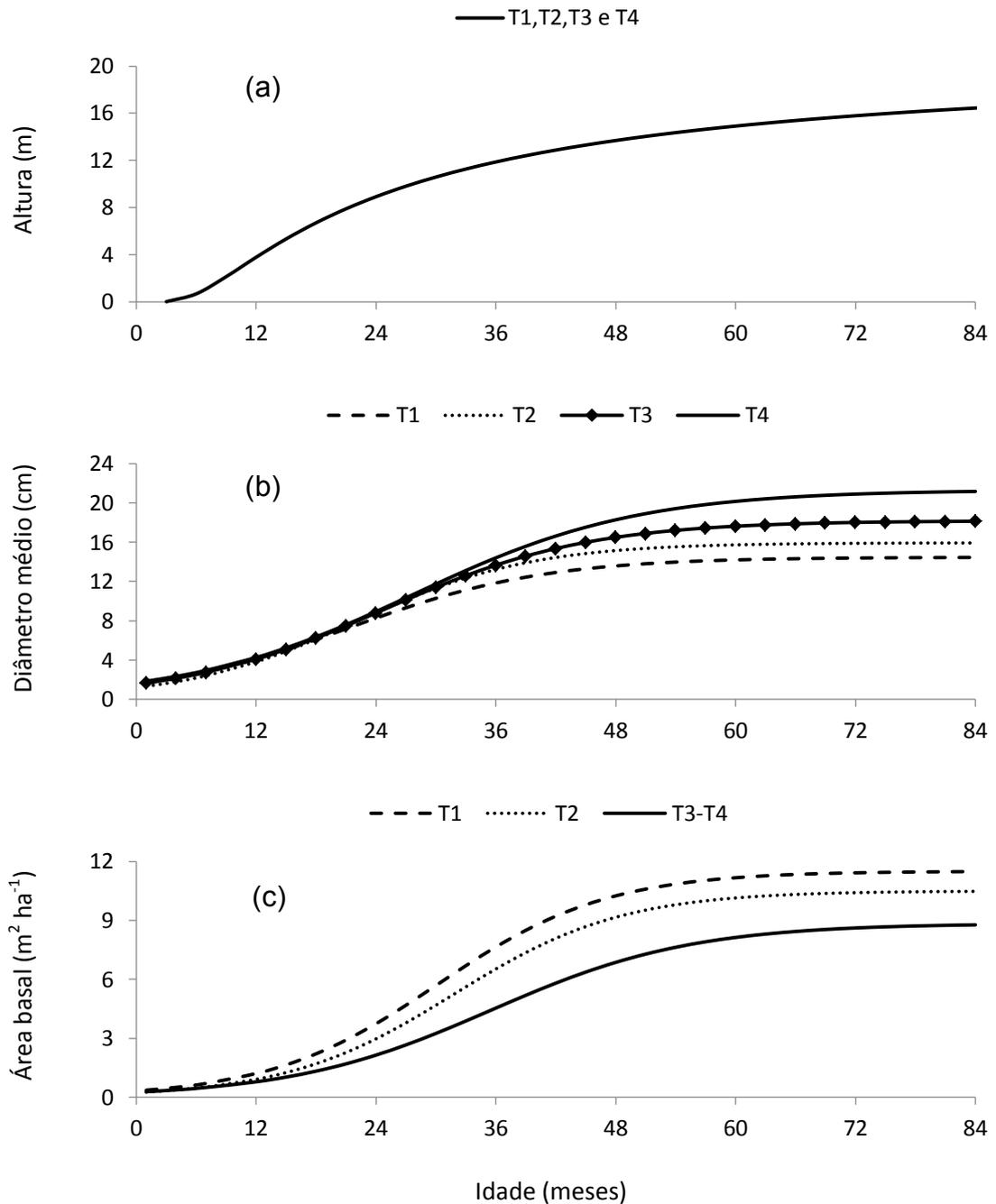


Figura 6. Crescimento em altura (a), diâmetro (b) e área basal (c) do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG. Sendo: T1= 9,5 x 1,5 m; T2= 9,5 x 2,0 m; T3= 9,5 x 3,0 m e T4= 9,5 x 4,0 m

Foram observadas diferenças nas distribuições de diâmetro dos arranjos espaciais ($p < 0,05$), em todas as idades de coleta dos dados (Tabela 4 e Figura 7). No arranjo 9,5 x 4,0 m (T4), foram observadas as maiores estimativas do parâmetro β , que, no caso da função Weibull de dois parâmetros, é o diâmetro (dap).

Tabela 4. Parâmetros de forma (γ) e escala (β) ajustados para a função Weibull, aos 14, 32, 38 e 51 meses após o plantio do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Tratamentos	Idade (meses)							
	14		32		38		51	
	γ	β	γ	β	γ	β	γ	β
T1	5,334	4,772	7,973	11,843	9,350	12,195	7,812	14,723
T2	5,081	4,818	15,152	10,367	9,318	13,209	8,489	16,036
T3	6,580	4,945	8,177	13,090	9,910	14,569	9,729	17,693
T4	5,221	5,148	9,284	13,602	11,172	15,348	6,412	19,922

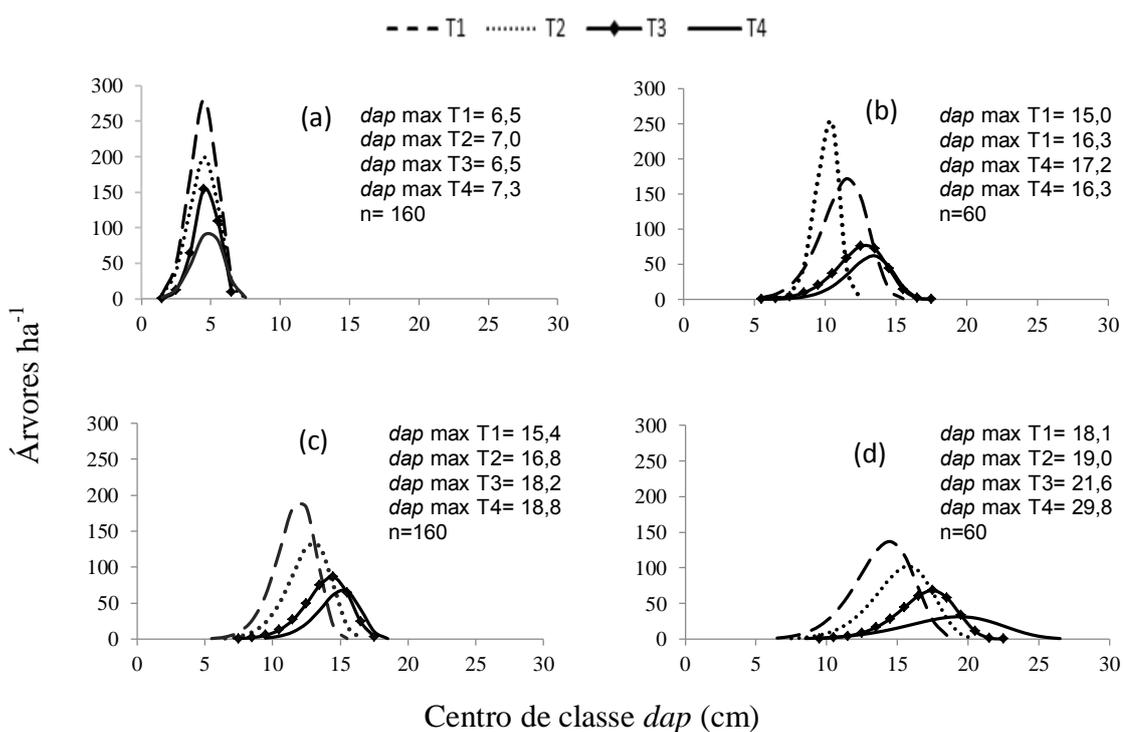


Figura 7. Número de árvores por hectare por classe de diâmetro estimado pela função Weibull de dois parâmetros, aos 14 (a), 32 (b), 38 (c) e 51 meses (d) após o plantio do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG. Sendo: T1= 9,5 x 1,5 m; T2= 9,5 x 2,0 m; T3= 9,5 x 3,0 m, T4= 9,5 x 4,0 m, *dap* max = diâmetro máximo, n= número de árvores mensuradas

Tabela 5. Estimativas dos parâmetros do modelo $\ln(dap\ max) = \beta_0 + \beta_1 (1/i) + \epsilon$ para o diâmetro máximo do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Tratamentos	Parâmetros		$r_{yy}^{(1)}$	$S_{yx}^{(2)}$
	β_0	β_1		
T1	3,0432	-21,9681	0,9087	0,1542
T2	3,1532	-23,4078	0,9155	0,1574
T3	3,2776	-24,5515	0,9477	0,1277
T4	3,3823	-25,9442	0,9317	0,1559

⁽¹⁾ r_{yy} = coeficiente de correlação entre valores estimados e observados; ⁽²⁾ S_{yx} = erro-padrão residual.

O crescimento em volume individual variou com os arranjos espaciais analisados ($p < 0,05$). Os valores assintóticos mais elevados foram para os arranjos com árvores mais espaçadas na linha de plantio (Tabela 3), ocorrendo uma diminuição do volume com a redução da distância entre as árvores na linha de plantio. O valor assintótico para os tratamentos 1 e 2 ($0,1718\text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$) (Tabela 3 e Figura 8) corresponde à metade do valor encontrado para o arranjo $9,5 \times 3,0\ \text{m}$.

O maior volume por hectare ($p < 0,05$) foi verificado no arranjo $9,5 \times 1,5\ \text{m}$ ($133,31\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$). O arranjo $9,5 \times 2,0\ \text{m}$ apresentou elevado crescimento nos primeiros meses após o plantio, porém, houve estagnação do crescimento mais cedo do que para os demais arranjos, apresentando menor crescimento (Tabela 3 e Figura 8).

Foi observado maior incremento médio anual (IMA) para o arranjo $9,5 \times 1,5\ \text{m}$ ($20\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}\ \text{ano}^{-1}$) aos 71 meses após o plantio. O arranjo $9,5 \times 2,0\ \text{m}$ apresentou produção máxima em idade antecipada, aos 63 meses, enquanto para o arranjo $9,5 \times 3,0\ \text{m}$ e $9,5 \times 4,0\ \text{m}$ tiveram idade técnica de corte mais tardia (74 meses) (Figura 9).

O índice de área foliar (IAF) diferiu, entre os arranjos espaciais e idades avaliadas ($p < 0,05$) (Tabela 6). Houve um aumento no IAF entre 15 e 38 meses, sendo que, após este período, não houve alteração no IAF médio. Aos 15 meses, os arranjos $9,5 \times 3,0\ \text{m}$ e $9,5 \times 4,0\ \text{m}$ apresentaram baixos valores de IAF quando considerada a média dos seis pontos de medição (pontos 1 a 6). O arranjo $9,5 \times 1,5\ \text{m}$ foi o de maior IAF (1,04) aos 15 meses após o plantio (Tabela 7).

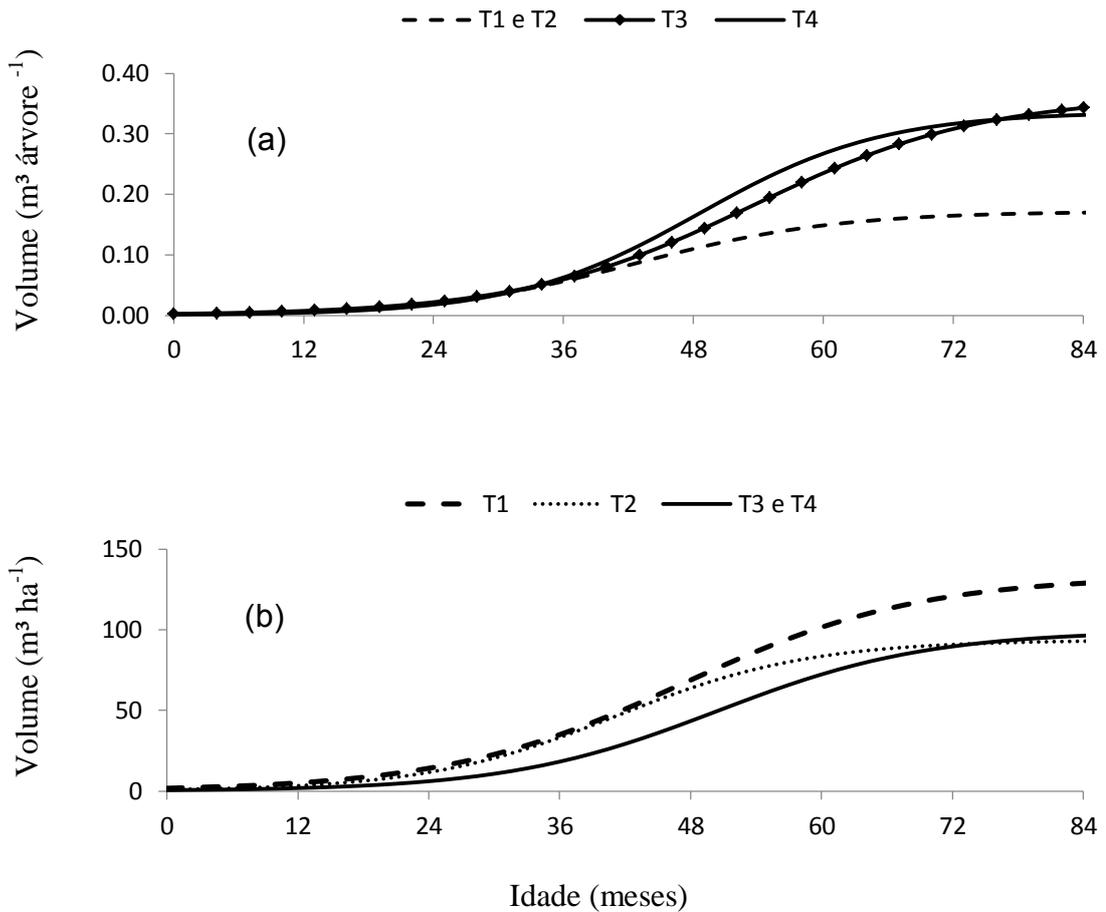


Figura 8. Produção em volume individual ($\text{m}^3 \text{árvore}^{-1}$) (a), e por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (b), do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG. Sendo: T1= 9,5 x 1,5m; T2= 9,5 x 2,0m; T3= 9,5 x 3,0m e T4= 9,5 x 4,0m

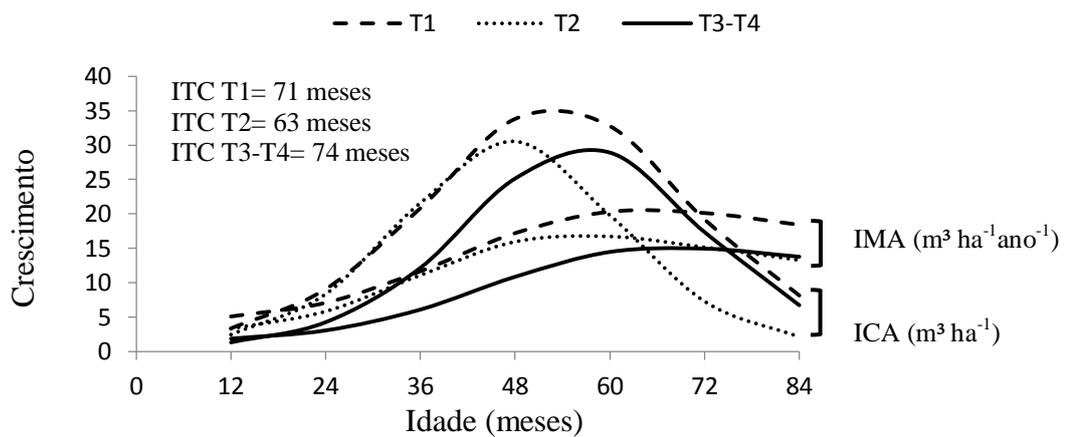


Figura 9. Incrementos, médio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e corrente ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), e idade técnica de colheita (ITC) do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG Sendo: T1= 9,5 x 1,5 m; T2= 9,5 x 2,0 m; T3= 9,5 x 3,0 m e T4= 9,5 x 4,0 m

Tabela 6. Análise de variância do IAF para diferentes posições e datas de coleta do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

FV	GL	GL	SQ	QM	F	P-valor	
Tratamento	a-1	3	0,9890	0,3297	10,6699	0,0005	*
Resíduo (a)	(a-1) (r-1)	15	0,4640	0,00309			
Idade	b-1	2	11,3240	5,6620	89,3059	2,17*10 ⁻¹⁶	*
Tratamento * Idade	(a-1) (b-1)	6	0,8520	0,1420	2,2397	0,0564	ns
Tratamento/Idade 15	a-1	3	1,4973	0,4991	7,8722	0,0002	*
Tratamento /Idade 38	a-1	3	0,2842	0,0947	1,4937	0,2290	ns
Tratamento /Idade 51	a-1	3	0,0601	0,0200	0,3154	0,8137	ns
Resíduo (b)	a(r-1) (b-1)	45	2,854	0,0634			

Sendo: a= arranjos espaciais; r = posição de coleta de IAF; b= datas de coleta de IAF, * = significativo a 0,05.

Tabela 7. Índice de área foliar médio do clone 58 de eucalipto aos 15, 38 e 51 meses após o plantio do clone 58, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Tratamento	Média	Idade (meses)	Média	Tratamento/ Idade 15	Média
T1	1,39 a	38	1,61 a	T1	1,04 a
T2	1,32 a	51	1,43 a	T2	0,77 ab
T3	1,13 a	15	0,68 b	T4	0,59 bc
T4	1,12 a			T3	0,36 c

Sendo: T1= 9,5 x 1,5 m; T2= 9,5 x 2,0 m; T3= 9,5 x 3,0 m e T4= 9,5 x 4,0 m. Médias com mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05)

Não houve diferença na produtividade de grãos de soja em relação à posição da amostragem (lado esquerdo ou direito da linha de plantio) (p>0,05). A produção média de soja foi superior no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, produzindo 52% a mais que no arranjo 9,5 x 3,0 m (Tabela 8). A produção de grãos de soja não diferiu entre os demais arranjos espaciais.

Tabela 8. Produção de grão de soja (*Glycine max*) colhidos em abril de 2007, aos 23 meses após o plantio do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Arranjos (m)	kg ha ⁻¹
9,5 x 1,5	1242,18 a
9,5 X 2,0	1454,27 a
9,5 X 3,0	1564,56 a
9,5 X 4,0	2496,48 b

Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

A produção de madeira (Tabela 9) auxilia na compreensão da análise econômica, considerando um período de sete anos. O fluxo de caixa acumulado foi negativo para os consórcios com plantas dispostas nos arranjos mais adensados 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m. O arranjo 9,5 x 4,0 m apresentou saldo positivo na implantação da cultura de soja (Tabela 10).

A análise econômica mostrou viabilidade na implantação dos arranjos 9,5 x 3,0 m e 9,5 x 4,0 m, com taxa interna de retorno (TIR) de 17,34% e 24,79% respectivamente. O valor do VPL, indicado pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizados de acordo com a taxa de desconto, foi maior para o arranjo 9,5 x 4,0 m, sendo R\$ 2.364,25 e R\$ 2.885,27 para 10 e 8% de taxa de desconto, respectivamente. O critério benefício (custo) periódico equivalente (B(c)PE) converte os fluxos de caixa líquidos em uma série equivalente de valores iguais, sendo que o maior valor ocorreu no arranjo 9,5 x 4,0 m (R\$ 554,18 h⁻¹) com taxa de desconto a 8% a.a. (Tabela 11).

Tabela 9. Produção do clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Ano	Diâmetro médio (cm)				Área basal (m ² ha ⁻¹)			Volume (m ³ árvore ⁻¹)			Volume (m ³ ha ⁻¹)			ICA (m ³ ha ⁻¹)			IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3-T4	T1-T2	T3	T4	T1	T2	T3-T4	T1	T2	T3-T4	T1	T2	T3-T4
1	4,1	3,8	4,1	4,3	1,21	0,91	0,78	0,006	0,007	0,004	5,07	3,30	1,84	3,34	2,42	1,30	5,07	3,30	1,84
2	8,3	8,8	8,8	8,9	3,74	2,97	2,14	0,020	0,022	0,018	14,13	11,62	6,08	9,06	8,32	4,24	7,06	5,81	3,04
3	11,8	13,2	13,7	14,4	7,65	6,53	4,54	0,056	0,059	0,063	34,95	33,21	18,22	20,82	21,59	12,15	11,65	11,07	6,07
4	13,6	15,1	16,5	18,3	10,25	9,16	6,86	0,110	0,136	0,163	68,76	63,74	43,36	33,81	30,53	25,13	17,19	15,94	10,84
5	14,2	15,7	17,6	20,1	11,17	10,14	8,13	0,149	0,235	0,267	101,52	83,53	72,27	32,76	19,79	28,91	20,30	16,71	14,45
6	14,4	15,9	18,0	20,9	11,42	10,41	8,61	0,165	0,308	0,316	120,70	90,80	89,61	19,18	7,27	17,33	20,12	15,13	14,93
7	14,4	15,9	18,1	21,2	11,48	10,48	8,77	0,170	0,343	0,331	128,83	92,88	96,31	8,12	2,08	6,70	18,40	13,27	13,76

Sendo: T1= 9,5 x 1,5m; T2= 9,5 x 2,0m; T3= 9,5 x 3,0m e T4= 9,5 x 4,0m

Tabela 10. Fluxo de caixa (R\$ ha⁻¹) para 7 anos do sistema consorciado soja x clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

Ano	T1				T2			
	Custos	Receitas	Saldo	Saldo acumulado	Custos	Receitas	Saldo	Saldo acumulado
0	2847,65		-2847,65	-2847,65	2600,08		-2600,08	-2600,08
1	2081,81	1297,46	-784,35	-3632,01	2041,48	1518,98	-522,496	-3122,58
2	311,61		-311,61	-3943,62	311,61		-311,61	-3434,19
3	196,97		-196,97	-4140,59	196,97		-196,972	-3631,16
4	196,97		-196,97	-4337,56	196,97		-196,972	-3828,14
5	196,97		-196,97	-4534,53	196,97		-196,972	-4025,11
6	196,97		-196,97	-4731,51	196,97		-196,972	-4222,08
7	0	4636,75	4636,75	-94,76	0	3059,31	3059,309	-1162,77

Ano	T3				T4			
	Custos	Receitas	Saldo	Saldo acumulado	Custos	Receitas	Saldo	Saldo acumulado
0	2351,041		-2351,04	-2351,04	2227,52		-2227,52	-2227,52
1	2000,92	1634,18	-366,73	-2717,77	2124,31	2607,57	483,26	-1744,26
2	311,61		-311,61	-3029,38	311,61		-196,98	-1941,24
3	196,97		-196,97	-3226,35	196,97		-196,97	-2138,21
4	196,97		-196,97	-3423,33	196,97		-196,97	-2335,19
5	196,97		-196,97	-3620,3	196,97		-196,97	-2532,17
6	196,97		-196,97	-3817,27	196,97		-196,97	-2728,34
7	0	8558,88	8558,88	5332,30	0	8558,88	8558,88	5830,54

Sendo: T1= 9,5 x 1,5m; T2= 9,5 x 2,0m; T3= 9,5 x 3,0m e T4= 9,5 x 4,0m

Tabela 11. Valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), benefício periódico equivalente (BPE) para taxas de desconto de 8 e 10% a.a. para o SAF soja x clone 58 de eucalipto, em arranjos espaciais com variação na distância entre plantas na linha de plantio, em Vazante, MG

	T1	T2	T3	T4
VPL (R\$/ha)				
10%	-1716,92	-2010,54	1373,29	2364,25
8%	-1478,45	-1858,35	1876,46	2885,27
TIR (%)				
	-0,41	-5,27	17,34	24,79
B(C)PE (R\$/ha)				
10%	-352,67	-412,98	282,08	485,63
8%	-283,97	-356,94	360,42	554,18

Sendo: T1= 9,5 x 1,5m; T2= 9,5 x 2,0m; T3= 9,5 x 3,0m e T4= 9,5 x 4,0m

5. DISCUSSÃO

No presente estudo, os arranjos espaciais não influenciaram o crescimento em altura. Não existe consenso sobre o efeito do arranjo espacial sobre o crescimento em altura das árvores (BALONI; SIMÕES, 1980; LELES et al., 2001; OLIVEIRA, 2014). Leles et al. (2001) observaram, nos arranjos mais adensados (3,0 x 1,5 m e 3,0 x 1,0 m), menor crescimento em altura das árvores, o que foi atribuído à elevada competição por recursos de crescimento, enquanto o arranjo 9,0 x 9,0 m, para *E. pellita*, foi considerado exceção, pois teve altura similar aos arranjos muito adensados, em virtude da intensa alocação para produção de galhos e raízes. A competição por água, luz e nutrientes se torna maior à medida que se aumenta a densidade de plantas, podendo interferir no crescimento em altura quando existem espaçamentos muito adensados (LEITE et al., 2006; SARTÓRIO, 2014). O material genético escolhido, também, pode determinar o crescimento em altura (MAGALHÃES et al., 2007; OLIVEIRA, 2014), assim como a disponibilidade hídrica e nutricional (BARTON; MONTAGU, 2006; STAPE et al., 2010).

O maior crescimento em diâmetro com a elevação da área útil por planta, observada no presente estudo, pode ser explicada pela maior disponibilidade de recursos de crescimento para as árvores individualmente. A gradual elevação no crescimento em diâmetro das árvores com o aumento dessa distância foi observada por diversos autores (WILL et al., 2005; KRUSCHEWSKY et al., 2007; SOUZA, 2010; PAULA et al., 2013; MACHADO, 2014; OLIVEIRA, 2014). Também, tem sido relatado que o aumento na distância entre plantas na linha de plantio favorece o crescimento diamétrico (OLIVEIRA NETO, 1996; BERNARDO et al., 1998; BERGER et al., 2000; LELES et al., 2001; MAGALHÃES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009; CARDOSO et al., 2013).

Paula et al. (2013) observaram que os arranjos espaciais que tiveram maior proximidade entre plantas na linha de plantio resultaram em plantas com menor diâmetro. Oliveira Neto et al. (1996) constataram aumento superior a 46% no crescimento em diâmetro de *E. camaldulensis*, em adequadas doses de adubação, com o aumento na distância entre plantas na linha de 2 a 5 m, mantendo-se fixa a distância na entrelinha de 3 m, aos 32 meses após o plantio. Resultados similares foram observados por Berger et al. (2001), para um clone de *E. saligna*.

O crescimento em área basal está relacionado com o diâmetro e com a densidade de plantas (CURTIS; MARSHALL, 2000; CAMPOS; LEITE, 2009). No presente estudo, os arranjos mais adensados apresentaram maior área basal do que os com menor densidade de plantas. Porém, aqueles com menor densidade de plantas puderam ser representados pela mesma curva de crescimento, devido, principalmente ao maior diâmetro apresentado pelas árvores do arranjo 9,5 x 4,0 m. Oliveira et al. (2009) verificaram, aos 51 meses, menor área basal para o arranjo (3x4)+10 m com linhas duplas (385 árvores ha⁻¹) comparado ao arranjo 10 x 3 m (333 árvores ha⁻¹). Apesar da maior densidade de plantas, o maior diâmetro no arranjo com linhas simples foi determinante no crescimento em área basal.

A maior distância entre plantas nos arranjos mais espaçados possibilitou maior volume por planta, conforme, também, observado por Oliveira et al. (2009). Estes autores relataram incremento de 47,7 e 49,6 % no volume individual das plantas dispostas nos arranjos 10 x 3,0 m e 10 x 4,0 m, respectivamente, comparados ao volume das árvores dispostas no arranjo 10 x 2,0 m, aos 51 meses após o plantio. Magalhães et al. (2007) observaram significativo aumento no volume individual das árvores, alterando o arranjo espacial de 6,0 x 2,0 m para 6,0 x 3,0 m, sendo o incremento menos significativo, quando comparado com as plantas dispostas no arranjo 6,0 x 4,0 m, aos 114 meses de idade, para 37% dos genótipos avaliados.

Oliveira (2014) relatou maior volume individual de clones de eucalipto com maior distância entre plantas na linha de plantio, para arranjos em linhas simples (9,0 x 3,0 m) que com duas fileiras de plantio como o (3x3)+9m. Estes arranjos foram recomendados para produção de madeira de maiores dimensões. Enquanto o arranjo espacial (2x2) + 10 m foi recomendado para produzir madeira de menores dimensões, mas com elevada produção, em razão da menor distância entre plantas na fileira dupla.

A retangularidade, ou seja, a relação entre a maior e a menor distância entre plantas, pode alterar a disponibilidade de recursos de crescimento para as plantas (GONÇALVES et al., 2004; PAULA et al., 2013; CARDOSO et al., 2013). No presente estudo, os arranjos 9,5 x 1,5m e 9,5 x 2,0m, com valores de retangularidade 6,3 e 4,7 respectivamente, apresentaram baixos valores para o volume por indivíduo, aproximadamente metade do volume nos arranjos mais espaçados. Cassidy et al. (2013) não verificaram alterações na anatomia e na densidade da madeira de *E. pilularis* com a variação na retangularidade, mas observaram aumento no

empenamento da madeira serrada, quando reduziu a distância entre plantas na linha de plantio, o que pode diminuir o valor comercial da madeira.

O espaçamento de plantio pode afetar as opções de manejo e a colheita florestal. O rendimento de uma colhedeira florestal diminui com a redução do volume individual das árvores (BURLA, 2008; MARTINS et al., 2009; LEITE et al., 2014). Martins et al. (2009) verificaram que a maior densidade de plantas implica em maiores custos operacionais na colheita florestal devido ao menor volume individual das árvores, resultado similar ao observado por Leite et al. (2014).

O maior crescimento em volume por área apresentado no arranjo 9,5 x 1,5 m está mais relacionado com o número de indivíduos do que nos demais arranjos do presente estudo, que tiveram maior influência no volume individual das árvores para a produção de madeira. O espaçamento de plantio pode afetar a disponibilidade de água (BARTON; MONTAGU, 2006), nutrientes (OLIVEIRA NETO et al., 2003; EPRON et al., 2011; MINHAS et al., 2015) e radiação solar (OLIVEIRA NETO et al., 2010), podendo alterar a partição de assimilados pela planta (BERNARDO et al., 1998; LELES et al., 2001). Barton e Montagu (2006) avaliaram o efeito da densidade de plantio na disponibilidade de água em *E. camaldulensis* e observaram um crescimento na partição de biomassa de raízes com o aumento do espaçamento, sendo a relação raiz:parte aérea maior para o espaçamento não irrigado. Leles et al. (2001) observaram maior alocação de biomassa para raízes e galhos de *E. pellita*, drenos não explorados comercialmente, no arranjo 9,0 x 9,0 m.

A idade técnica de corte foi menor para os arranjos mais adensados, onde a competição por nutrientes foi, certamente, mais elevada. Oliveira (2014) observou maior idade técnica de corte para o clone 58 quando as plantas foram dispostas nos arranjos (3x3) + 9 m e 9 x 3 m comparada ao arranjo (2x2) + 10 m, porém, Paula et al. (2013) registraram idade similar para a máxima produtividade para um clone de *E. camaldulensis* para diversos arranjos espaciais em SAF.

No presente estudo houve aumento substancial no IAF no período de 15 a 38 meses após o plantio do componente arbóreo, e posteriormente não se alterou entre 38 e 51 meses. Porém, o rápido aumento do IAF e sua posterior redução, após uma determinada idade, em plantios de eucalipto, foi observado em outros estudos (WATSON et al., 1999; XAVIER et al., 2002; ALMEIDA et al., 2007, 2010). Almeida et al. (2007) observou redução do IAF e do ICA após o fechamento do dossel ao avaliar o crescimento e o consumo de água em plantio de *E. grandis* em

arranjo convencional (3 x 3m). Almeida et al. (2010) observaram relação entre a disponibilidade hídrica e o IAF em povoamentos de eucalipto, onde no ano em que ocorreu acentuado déficit hídrico houve uma acentuada redução do IAF, o que implicaria numa redução acima de 30% da produção quando utilizou o modelo ecofisiológico de crescimento 3PG.

O maior valor de IAF foi encontrado no arranjo mais adensado (9,5 x 1,5 m) e os menores nos arranjos 9,5 x 3,0 e 9,5 x 4,0 m, aos 15 meses após o plantio. Paula (2011) verificou menores valores de IAF (1,73) em plantas dispostas no arranjo com maior área útil (9,0 x 3,0 m) em clone de *E. camaldulensis*, aos 38 meses após o plantio. Este autor também observou maior produção de biomassa de gramínea (3,02 Mg ha⁻¹) localizada próxima a linha do eucalipto neste mesmo arranjo espacial. Oliveira et al. (2015) observou menor produção de gramínea (2,25 Mg ha⁻¹) quando consorciado com clone 58 de eucalipto no arranjo 9,0 x 3,0 m aos 50 meses após o plantio.

A maior distância entre plantas pode favorecer maior crescimento individual da copa das árvores, promovendo aumento na área foliar por planta, porém, o IAF também, é influenciado pela densidade de plantas (WHITEHEAD; BEADLE, 2004; GRIG et al., 2008; PAULA, 2011; OLIVEIRA, 2014). Oliveira et al. (2015) relataram considerável decréscimo no IAF para povoamentos do clone 58 com o aumento do espaçamento, no período entre 38 e 50 meses após o plantio, permanecendo constante após esse período. Após esse período não ocorreram variações no IAF em relação ao adensamento das plantas.

A absorção da radiação através da copa das árvores pode ser diferente para um mesmo IAF, onde o arranjo das árvores é determinante na incidência da radiação no solo (BINKLEY et al., 2013). Machado (2012) não observou efeito na produção de capim-braquiária com a alteração da distância das plantas de eucalipto na linha de plantio até 26 meses após o estabelecimento das culturas, porém, a alteração na distância entre as linhas de plantio de 6 para 10 m possibilitou incremento de 42% no número de perfilhos. Fontan (2007) observou maior transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa (72,5%) em plantas de eucalipto do clone 58 de eucalipto comparada ao clone 19, híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (63,2%), no arranjo 9,5 x 4,0 m, sendo esse mais indicado para SAF.

Magalhães (2008) observou menor área de projeção de copa (m² ha⁻¹) para povoamento de eucalipto em cultivos consorciados no arranjo mais espaçado (10 x

4,0 m) em relação aos arranjos 10 x 2,0 m e 10 x 3,0 m aos 13 e 21 meses, atribuindo ao menor número de plantas por área. O mesmo autor verificou menor área de projeção de copa quando o eucalipto estava consorciado com mandioca, atribuindo a competição pelas raízes desta cultura o responsável pela formação da copa menor, influenciando no menor crescimento em altura e diâmetro do eucalipto.

A maior transmitância da radiação solar através do dossel e a menor competição por água e nutrientes pode favorecer as culturas agrícolas e pastagem em sistemas agroflorestais (PASSOS, 1996; CECCON et al., 1999; MACEDO et al., 2006; OLIVEIRA, 2014), permitindo maior produção dos componentes do sistema. No presente estudo não houve plantio de cultura agrícola no primeiro ano de estabelecimento do componente arbóreo, mas a produção da cultura agrícola nesta idade poderia ter sido elevada devido ao reduzido IAF e altura das árvores em todos os arranjos. A cultura da soja, plantada na segunda estação chuvosa após o plantio do componente arbóreo proporcionou elevada produtividade de grãos quando consorciada no arranjo 9,5 x 4,0 m, atingindo valores próximo ao relatado pela CONAB (2015), para monocultivos (2.730 kg ha⁻¹ para Minas Gerais).

A orientação das plantas no sentido leste-oeste, como ocorreu no presente estudo, permite maior incidência de radiação no SAF, porém, devido a mudança da inclinação solar, aliada ao crescimento das árvores, ocorrem alterações no ambiente luminoso, interferindo na produção da cultura de sub-bosque (CRESTANI, 2015). A aproximação das plantas nos arranjos mais adensados (9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m), aumentam a competição por recursos de crescimento, interferindo na produção do consórcio. Nygren et al. (2012) observou maior competição entre raízes quando o consórcio ingá x cacau foi mais adensado, sendo menor a sobreposição de raízes quando ocorreu aumento no espaçamento do ingá.

Passos (1996) observou produtividade de feijão consorciado com eucalipto no primeiro ano de implantação da cultura agrícola semelhante ao encontrado em monocultivo, indicando que ao implantar a cultura agrícola imediatamente após o plantio das árvores é pequena a competição entre cultura agrícola e florestal, principalmente, em povoamentos com menores densidades de árvores.

Macedo et al. (2004) observaram maior produtividade de soja nas fileiras centrais (1.474,15 kg ha⁻¹) em comparação com aquelas situadas próximas da linha de plantio do eucalipto no arranjo 10 x 4 m (564,28 kg ha⁻¹), tendo atingido produção média de 1.019,21 kg ha⁻¹ de soja. Este valor foi inferior ao observado no presente

estudo, no arranjo 9,5 x 4,0 m. Estes autores relataram que a baixa produtividade da soja se deveu ao déficit hídrico.

A implantação de cultura agrícola consorciada com eucalipto pode ser uma importante estratégia para garantir a produção de alimentos e reduzir os custos de produção de madeira (MONIZ, 1987; CECON et al., 1999; PRASAD et al., 2010). Prasad et al. (2010) verificaram produção adequada de feijão e viabilidade econômica quando consorciada com eucalipto em arranjos espaciais amplos. A produção de cultura agrícola do consórcio, nos primeiros anos após a implantação do componente arbóreo pode reduzir os custos de implantação florestal em até 37% (DUBÈ et al., 2002).

A viabilidade econômica na adoção de espaçamentos amplos depende da produção de todos os componentes do consórcio, ou seja, do componente arbóreo e das culturas agrícolas ou pastagem do consórcio. A produção de madeira por indivíduo e por área são consideradas fundamentais nesta avaliação econômica (DUBÈ et al., 2002; VALE et al., 2004; MELIDO, 2012; OLIVEIRA NETO et al., 2013).

O baixo valor de mercado da madeira destinada para energia e a pequena produção de soja tornaram inviáveis economicamente a implantação do SAF do clone 58 nos arranjos mais adensados 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m. A madeira destinada para serraria e parte para a geração de energia, foi o melhor investimento, sendo que o arranjo mais amplo (9,5 x 4,0 m) mostrou ser o mais rentável, pela maior produção de soja e menor gasto com implantação, bem como pela possibilidade de se obter madeira para serraria, que tem maior valor agregado. Melido (2012) observou maior viabilidade econômica na adoção do sistema de plantio no arranjo 3,0 x 3,0 m, em comparação com o arranjo 6,0 x 1,5 m, que, apesar de ter menor custo de implantação, mostrou elevado custo de manutenção, devido a infestação de plantas daninhas e menor incremento em madeira. Vale ressaltar que no presente estudo está, também, sendo considerada a implantação de cultura agrícola, que implica em redução de custo de controle de plantas daninhas.

A destinação da madeira para multiprodutos (energia + serraria) apresenta maior viabilidade econômica quando comparada com a madeira destinada apenas para energia aos 7 anos após o plantio de *E. grandis*. O elevado valor da madeira destinada para serraria é considerado o principal fator responsável pela maior viabilidade do SAF (SOARES et al., 2013). Castro et al. (2011) observaram maior

viabilidade econômica quando se destinou a madeira para multiprodutos, em um plantio de eucalipto com arranjo inicial 3,0 x 2,5 m.

Oliveira Neto et al. (2013) considerou viável a adoção de um SAF rotativo com a cultura do arroz, soja e pastagem, com entrada do gado, seguindo uma sequência temporal na implantação, no arranjo 10 x 4,0 m sendo a colheita da madeira destinada para multiprodutos. BENTES GAMA (2003) relatou que o consórcio castanha-do-brasil, banana, pimenta-do-reino e cupuaçu foi o mais rentável a longo prazo (15 anos), apresentando retorno financeiro logo no primeiro ano com a venda da banana.

Para a obtenção de produtividade elevada da cultura agrícola ou pastagem, além da definição do melhor arranjo espacial e genótipo do componente arbóreo, é possível aplicar tratamentos silviculturais como a desrama artificial e o desbaste para a obtenção de maior valor agregado. Além de melhorar a qualidade da madeira no corte final, promovem aumento da transmitância da radiação solar através do dossel (CHAVES et al., 2007; GEORGENS et al., 2007; OLIVEIRA NETO et al., 2010; FONTAN et al., 2011; REIS et al., 2013; RAMOS et al., 2014). Esses tratamentos ou práticas silviculturais são aplicados quando se pretende produzir madeira para serraria, postes, dentre outros, uma vez que favorecem o crescimento individual e implica na redução de defeitos da madeira, principalmente os nós (FINGER et al., 2001; POLLI et al., 2006; MONTE et al., 2009; DOBNER et al., 2012; FORRESTER, BAKER; 2012).

6. CONCLUSÕES

Para produção de madeira de menores dimensões em sistemas agroflorestais, o arranjo 9,5 x 1,5 m é o mais indicado, e, para produção de madeira para serraria, postes, dormentes e laminados o povoamento no arranjo 9,5 x 4,0 m apresenta árvores com maior crescimento individual, favorecendo o seu uso para produtos de maior valor agregado. Porém, o baixo valor de mercado da madeira destinada para energia resulta em inviabilidade econômica para os arranjos 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m.

O IAF varia com o arranjo espacial e época de coleta. Os baixos valores de IAF do componente arbóreo para os arranjos espaciais 9,5 x 3,0 m 9,5 x 4,0 m permitem indicar haver maior transmitância de radiação fotossintética ativa através do dossel, favorecendo a produtividade da cultura de sub-bosque, agrícola e, ou pastagem, nos primeiros anos de implantação do SAF.

Dentre os arranjos avaliados, o 9,5 x 4,0 m foi o mais indicado sob o ponto de vista econômico, quando houve o uso da madeira para multiprodutos, além de se ter menores custos de implantação e elevada produção da soja.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantation in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p. 10-21, 2007.

ALMEIDA, A. C.; SIGGINS, A.; BATISTA, T. R.; BEADLE, C.; FONSECA, S.; LOOS, R. Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on *Eucalyptus* plantation production with 3-PG, on a process-based growth model. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1730-1740, 2010.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; NETO, M. M. G.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n.257, p.59-67, 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

BARTON, C. V. M.; MONTAGU, K. D. Effect of spacing and water availability on root:shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, v.221, p.52-62, 2006.

BENTES GAMA, M. M. **Análise técnica e econômica de sistemas agroflorestais em Machadinho D' oeste, Rondônia**. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

BERNARDO, A. L.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.104, n.1-3, p. 1-13, 1998.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; GSPALTL, M.; FORRESTER, D. I. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for tree and stands?. **Forest Ecology and Management**, v.288, p. 5-13, 2013.

BURLA, E. R. Avaliação técnica e econômica do "Harvester" na colheita de eucalipto. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

BURNER, D. M.; BRAUER, D. K. Herbage response to spacing of loblolly pine trees in a minimal management silvipasture in southeastern USA. **Agroforestry Systems**, v.57, p.69-77, 2003.

CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; BAUERLE, W. L.; BINKLEY, D.; MAIRE, G. L. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a

productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.288, p.14-20, 2013.

CARDOSO, D. J.; LACERDA, A. E. B.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; LIMA, R. T. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 310, p.761-769, 2013.

CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R. G. B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, v.44, p. 919-936, 2013.

CASTRO, R.V. O.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SOARES, C. P. B.; JUNIOR, C. A. A.; CASTRO, A. F. N. M.; CRUZ, J. P.; SANTOS F. L.; SOUZA, C. C. Avaliação econômica de um povoamento de eucalipto desbastado e destinado a multiprodutos da madeira. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 351-357, 2011.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H,G, **Mensuração florestal: perguntas e respostas**, 4 ed, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013, 605p.

CHAVES, R. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; PEZZOPANE, J. E. M.; XAVIER, A.; MONTE, M. A. Dinâmica de cobertura do dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.989-998, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos (Safra 2007-2008). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 01 de Julho de 2015.

CRESTANI, S. **Respostas morfológicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiaria brizantha* cv Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta**. 102 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CURTIS, R.O.; MARSHALL, D. D. Why quadratic mean diameter? **Western Journal Applied Forestry**, v.15, n.3, p.137-139, 2000.

DOBNER, M. JR.; HIGA, A. R.; URBANO, E. Determinação da idade e intensidade ótimas para realização do primeiro desbaste em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*. **Revista Floresta**, v.42, n.3, p.485-494, 2012.

DUBÈ, F.; COUTO, L.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; GARCIA, R.; ARAUJO, G. A. A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 73-80, 2002.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2.ed, Rio de Janeiro,2006, 306.p.

EPRON, D.; LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; PONTON, S.; SETTE JR, C. R.; DELGADO-ROJAS, J. S.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Do change in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical *Eucalyptus* plantation? **Tree Physiology**, v. 32, p. 667-679, 2011.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; BAZZO, J. L.; KLEYN, J. E. M. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Cerne**, v.7, n.1, p.53-64, 2001.

FONTAN, I. C. I. Dinâmica de copa e crescimento de eucalipto submetido a desrama em sistema agroflorestal. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FONTAN, I. C. I.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; MONTE, M. A.; RAMOS, D. C.; SOUZA, F. C. Growth of pruned eucalypt clone in an agroforestry system in southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v,83, p,121-131, 2011.

FORRESTER, D. I.; BAKER, T. G. Growth responses to thinning and pruning in *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, and *Eucalyptus grandis* plantations in southeastern Australia. **Canadian Journal of Forest Research**, v.42, n.1, p.75-87, 2012.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf. Acesso em: 13 Julho de 2015.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.635-646, 2003.

GEORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação de desbaste. **Revista Árvore**, v.31, n.5; p.879-885, 2007.

GRIG, A. H.; MACFARLANE, C.; EVANGELISTA, C.; EAMUS, D.; ADAMS, M. A. Does initial spacing influence crown and hydraulic architecture of *Eucalyptus marginata*? **Tree Physiology**, v. 28, n.5, p.753-760, 2008.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, p. 45-61, 2004.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZA, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.6-27, 2013.

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**, v.30, n.4, p.603-612, 2006.

LEITE, E. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; AMARAL, E. J.; LACERDA, E. G. Desempenho do *Harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.00-00, 2014.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v.22, n.1, p.41-50, 1998.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n.59, p, 77-87, 2001.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R. G.; VENTURIN, N.; SALGADO, B. G.; VALE, R. S.; HIGASHIKAWA, E. M. Produção agroflorestral de sistemas consorciados de soja com clones de eucalipto na região de cerrado, em Paracatu-Minas Gerais. **Agrossilvicultura**. v.1, n.2, p. 175-185, 2004.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R. G.; VENTURIN, N.; VALE, R. S.; OLIVEIRA, T. K. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônomicas de milho cultivados em sistemas silviagrícolas. **Revista Árvore**, v. 30, p. 701-709, 2006.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, **Informe Agropecuário**, v,29, n,242, p,71-85, 2008.

MACHADO, V. T. Pastagens de capim-braquiária em sistema silvipastoril com eucalipto. 59 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MAGALHÃES, W. M; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N; HIGASHIKAWA, E. M.; JUNIOR, M. Y. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MAGALHÃES, W. M. **Sistemas agroflorestrais com eucalipto, amendoim, mamona e mandioca no norte de Minas Gerais**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis** v.37, n.83, p. 253-263, 2009.

MELIDO, R. C. N. **Avaliação técnica e econômica de dois projetos florestais com eucalipto para fins energéticos**. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012.

MINHAS, P. S.; YADAV, R. K.; LAL, K.; CHATURVEDI, R. K. Effect of long-term irrigation with wastewater on growth, biomass production and water use by Eucalyptus (*Eucalyptus tereticornis* Sm.). **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 151-160, 2015.

MONIZ, C. V. D. **Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell), em plantio consorciado com milho (*Zea mays* L.) no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; LEITE, H. G.; CACAU, F. V.; ALVES, F. F. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, v. 33, p. 777-787, 2009.

NYGREN, P.; LEBLANC, H.A.; LU, M.; LUCIANO, G. Distribution of coarse and fine roots of *Theobroma cacao* and shade tree *Inga edulis* in cocoa plantation. **Annals of Forest Science**, v. 70, p.229-239, 2013.

OLIVEIRA, C. H. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; XAVIER, A.; STOCKS, J. J. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Árvore**, v.32, p.59-68, 2008.

OLIVEIRA, C. H. R. **Produção de eucalipto em auto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastoris em diferentes arranjos espaciais**. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

OLIVEIRA, C. H. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; SOUZA, F. C.; SOARES, R. F.; OLIVEIRA, F. B. Dynamics of eucalypt clones and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with diferente spatial arrangements. **Agroforestry systems**, p.1-12, 2015.

OLIVEIRA NETO, S. N. **Biomassa, nutrientes e relações hídricas em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn, em resposta à adubação e ao espaçamento**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipaestril e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, n.257, p.47-58, 2010.

OLIVEIRA NETO, S. N.; SALLES, T. T.; LEITE, H. G.; FERREIRA, G. B.; MELIDO, R. C. N. Tree modeling and economic evaluation of agroforestry systems in southeastern Brazil. **Silva Lusitana**, v.21 p.43 - 60, 2013.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; SANTOS, I. P. A.; HIGASHIKAWA, E. M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A, Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.748-757, 2007.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em Sistema Agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n, 60, p, 01-09, 2009.

PASSOS, C. A. M. **Sistemas agroflorestais com eucalipto para uso em programas de fomento florestal, na região de Divinópolis, MG**. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

PAULA, R. R. **Avaliação silvicultural de eucalipto em monocultivo e em sistema agroflorestal com diferentes arranjos espaciais**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUSA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v.87, n.6, p.1285-1307, 2013.

PRASAD, J. V. N. S.; KORWAR, G. V.; RAO, K. V.; MANDAL, U. K.; RAO, C. A. R.; RAMAKRISHNA, Y. S.; VENKETESWARLU, B.; RAO, S. N.; KULKARNI, H. D.; RAO, M. R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v.78, n.2, p. 253–267, 2010.

POLLI, H. Q.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; VITAL, B. R.; PEZZOPANE J, E. M; FONTAN, I. C. I. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.557-566, 2006.

RAMOS, D. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; STOCKS, J. J.; LIMA, A. P. L.; FARIA, R. S. Thinning effect on plant growth of pruned eucalypt clone. **Revista Árvore**, v.38, n.3, p. 495-503, 2014.

REIS, G. G.; HALL, A. E. Relações hídricas e atividade do sistema radicular em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em condições de campo. **Revista Árvore**, vol.11, p. 43-55, 1987.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus spp* submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v,30, n,6, p,921-931, 2006.

REIS, G. G.; REIS, M G. F.; LEITE, H. G.; MONTE, M. A. Desrama artificial e desbaste para produção de madeira serrada. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. **Eucaliptocultura**

no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa-MG, Sociedade de Investigações Florestais, 2013, p.283-301.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zealand Journal of Forest Science**, v.30, p. 225-236, 2000.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutriente em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, 2008.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D. ; HIGA, A. R. ; ASSIS, T. F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* L'Hér. no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 39, p. 81-91, 2015.

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades.** 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal.** 78 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M.; VALE, A. B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.699-694, 2003.

SOUZA, J. T. **Influência de diferentes espaçamentos no valor total do estoque madeireiro de um povoamento de teca (*Tectona grandis* L.f.) aos 11 anos de idade, na região de Cárceres-MT.** 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

SOUZA, F. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F.; FARIA, R. S.; PEREIRA, M. M. Sobrevivência e diâmetro de plantas intactas e brotações de clones de eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.1, p. 44-54, 2011.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v, 259, p, 1684-1694, 2010.

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da zona da mata de Minas Gerais.** 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

VALE, R. S.; COUTO, L.; SILVA, M. L.; GARCIA, R.; ALMEIDA, J. C. C.; LANI, J. L. Análise de viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com eucalipto para a zona da mata de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, v.1, n.2, p.107-120, 2004.

WATSON, F. G. R.; VERTESSY, R. A.; GRAYSON, R. B. Large-scale modeling of forest hydrological processes and the long-term effect on water yield. **Hydrological processes**, v.13, p.689-700, 1999.

WILL, R. E.; NARAHARI, N. V.; SHIVER, B. D.; TESKEY, R. O. Effects of planting density on canopy dynamics and stem growth for intensively managed loblolly pine stands. **Forest Ecology and Management**, v. 205, p. 29-41, 2005.

XAVIER, A.C.; SOARES, V.; ALMEIDA, A.C. Variação do Índice de Área Foliar em clones de eucalipto ao longo do ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p,421-427, 2002.