

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO INICIAL DE UM CLONE DE *Eucalyptus grandis* EM
DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO NO SISTEMA DE CURTA
ROTAÇÃO**

FELIPE DE CÓRDOVA MACHADO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Janeiro - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO INICIAL DE UM CLONE DE *Eucalyptus grandis* EM
DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO NO SISTEMA DE CURTA
ROTAÇÃO**

FELIPE DE CÓRDOVA MACHADO

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Janeiro – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA
INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Machado, Felipe de Córdova, 1987-

M149c Crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* em
diferentes arranjos de plantio no sistema de curta rotação
/ Felipe de Córdova Machado. - Botucatu : [s.n.], 2014
viii, 45 f. : ils., tabs., grafs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014

Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra

Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Cultivo. 2. Madeira - Densidade. 3. Cul-
tivos agrícolas energéticos. 4. Rotação de cultivos. I.
Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu).
Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CRESCIMENTO INICIAL DE UM CLONE DE *Eucalyptus grandis* EM
DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO NO SISTEMA DE CURTA
ROTAÇÃO"

ALUNO: FELIPE DE CÔRDOVA MACHADO

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA



PROFA. DRA. CAROLEINA A. DE SOUZA QUEIROZ



PROF. DR. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA

Data da Realização: 31 de janeiro de 2014.

Aos meus queridos pais Isaac Machado e Iara Teresinha de Córdova Machado.

A minha amada Grasiela.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que contribuíram de alguma forma para a minha evolução profissional e pessoal durante esta jornada.

Primeiramente a Deus, por me conceder a vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao professor e orientador Saulo Philipe Sebastião Guerra, pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Kléber Pereira Lanças, pelos ensinamentos.

À Capes pelo apoio financeiro.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Energia na Agricultura da FCA/UNESP, pelos ensinamentos.

Aos membros da banca examinadora, pelas críticas e sugestões.

Aos funcionários da Pós-Graduação pela atenção e excelente serviço.

Aos funcionários da Fazenda Lageado, pelos serviços prestados.

Aos funcionários dos Departamentos de Engenharia Rural e, Economia, Sociologia e Tecnologia.

A minha família pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos da minha vida.

A minha namorada Grasiela, pelo amor, alegria, companheirismo e incentivo em todos os momentos.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, pela ótima formação acadêmica.

Aos amigos que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, em especial, ao NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VIII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Florestas energéticas	7
4.2 Espaçamentos.....	9
4.2.1. Influência do espaçamento na alocação de biomassa.....	12
4.3 Densidade básica da madeira	13
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1 Localização e caracterização da área de estudo	16
5.2 Tratamentos e delineamento experimental	16
5.3 Manejo e tratos culturais.....	17
5.4 Avaliações dendrométricas	18
5.4.1 Área basal.....	19
5.4.2 Coleta de árvores-amostra.....	19
5.4.3 Volume	20
5.4.4 Determinação da densidade.....	21
5.4.5 Determinação da biomassa.....	22
5.5 Análise estatística	24
6 RESULTADOS	25
6.1. Diâmetro médio	25
6.2 Área basal.....	26
6.3 Volume.....	28
6.4 Densidade.....	29
6.5 Biomassa aérea total e alocação de biomassa	31
7 CONCLUSÕES	35
8 REFERÊNCIAS	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área útil e número de árvores por hectare por tratamento.....	18
Tabela 2. Análise de variância para o diâmetro médio.....	25
Tabela 3. Análise de variância para área basal.....	26
Tabela 4. Análise de variância para o volume.....	28
Tabela 5. Análise de variância da densidade básica.....	30
Tabela 6. Análise de variância da biomassa aérea seca.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espaçamento 3,0 m x 1,0 m (linha simples).....	17
Figura 2. Espaçamento de 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m (linha dupla).....	17
Figura 3. Espaçamento de 3,0 m x 1,0 m x 1,0 m (linha dupla).....	17
Figura 4. Espaçamento de 3,0 m x 0,5 m (linha simples).....	17
Figura 5. Amostras identificadas para determinação de densidade.....	21
Figura 6. Folhas (a) e galhos (b) coletados de um mesmo indivíduo.....	23
Figura 7. Diâmetro médio aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas iguais entre espaçamentos não diferem entre si.....	26
Figura 8. Área basal aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas iguais entre espaçamentos não diferem entre si.....	27
Figura 9. Volume aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas iguais entre espaçamentos não diferem entre si.....	28
Figura 10. Densidade básica aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas iguais entre espaçamentos não diferem entre si.....	30
Figura 11. Biomassa aérea total aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas iguais entre espaçamentos não diferem entre si.....	32
Figura 12. Alocação de biomassa aos 12 e 24 meses de idade.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS

AB – Área Basal;

DAP – Diâmetro Altura do Peito;

DBM – Densidade Básica da Madeira;

I.A. – Ingrediente Ativo

IAF – Índice de Área Foliar;

IMA – Incremento Médio Anual;

SRC – Short Rotation Coppice / Florestas de Curta Rotação.

1 RESUMO

Com o aumento da necessidade por novas fontes energéticas, faz-se necessário o desenvolvimento de soluções que possam suprir a demanda gerada de energia. O uso de florestas para fins energéticos é uma alternativa por ser fonte de energia limpa e renovável. As florestas de eucalipto do Brasil estão entre as mais produtivas do mundo e com a alteração da densidade de plantio é possível encontrar valores maiores de produtividade. O objetivo deste trabalho foi identificar a influência do arranjo de plantio de um clone de *Eucalyptus grandis* sobre a densidade básica da madeira e crescimento da espécie. O ensaio foi composto por quatro espaçamentos de plantio: 3,0 m x 1,0m (linha simples), 3,0m x 1,0m x 2,0m (linha dupla), 3,0 m x 1,0m x 1,0m (linha dupla) e 3,0m x 0,5m (linha simples), sendo que cada parcela era de 20m x 90m. As mudas de *Eucalyptus grandis*, clone G-21, foram plantadas em Junho de 2011, tendo sido realizadas duas avaliações, a primeira aos 12 meses e a segunda aos 24 meses após o plantio. As variáveis analisadas foram: diâmetro, área basal, volume, densidade básica da madeira e biomassa seca. Dentre as variáveis analisadas o diâmetro sofreu influência positiva do espaçamento, os espaçamentos mais amplos apresentaram maior diâmetro. Para área basal, volume, densidade básica e biomassa, pela análise de variância foram detectadas diferenças significativas para as fontes de variação: espaçamento e idade. A maior diferença para a área basal foi encontrada aos 24 meses, onde os espaçamentos mais adensados apresentaram maior área basal. Para todos os espaçamentos houve aumento significativo da área basal, indicando que não houve estagnação do crescimento. O volume apresentou diferença significativa somente aos 24 meses, onde o espaçamento 3x1x2 foi o

que apresentou o menor valor, para todos os espaçamentos houve aumento significativo do volume entre as duas idades analisadas. Os menores valores de densidade foram encontrados nos espaçamentos mais adensados. Os maiores valores de biomassa foram encontrados nos espaçamentos 3x1 e 3x1x1. Para a alocação de biomassa nos diferentes compartimentos foi encontrada a sequência tronco>galhos>folhas, houve em todos os tratamentos um decréscimo da porcentagem de folhas entre os 12 e 24 meses, sendo este compensado pelo aumento de biomassa no tronco e nos galhos.

Palavras chave: Plantio adensado, arranjos de plantio, florestas energéticas.

INITIAL GROWTH OF A CLONE OF *Eucalyptus grandis* IN DIFFERENT PLANTING ARRANGEMENTS OF SHORT ROTATION SYSTEM. Botucatu, 2014. 45p.
 Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
 Author: FELIPE DE CÓRDOVA MACHADO
 Adviser: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

2 SUMMARY

As the increasing needs for new energy sources, it is necessary to develop solutions that can meet the demand generated energy. The use of forests for energy is an alternative to be a source of clean and renewable energy. Eucalyptus forests of Brazil are the most productive in the world and with the change in the density of planting is possible to find greater values of productivity. Therefore, the aim of this study was to identify the influence of the arrangement planting of *Eucalyptus grandis* on wood density and growth of the species. The test consisted of four planting spacings : 3.0m x 1.0m (single row), 3.0m x 1.0m x 2.0m (double row), 3.0m x 1.0m x 1.0m (double row) and 3.0m x 0.5m (single row) , and each plot was 20m x 90m . The *Eucalyptus grandis* clone G- 21 was planted in June 2011 and two evaluations were made, the first at 12 months and the second at 24 months after planting. The variables analyzed were: diameter, basal area, volume, wood density and biomass. Among the variables the diameter was positively influenced by the spacing, and wider spacings had higher diameter. For basal area, volume, density and biomass by analysis of variance significant difference was detected for the sources of variation: spacing and age. Basal area the biggest difference between the spacings was found at 24 months, where the denser spacing had higher basal area. For all spacings significant increase of basal area, indicating no growth stagnation. The volume showed a significant difference only at 24 months, where the spacing 3x1x2 was presented the lowest value, for all spacings significant increase in the volume between the two ages examined. The density showed that the smaller density values were found in denser spacing. The highest biomass values were found in the 3m x1m and 3m x 1m x 1m. For the allocation of biomass in different compartments was found the sequence stem > branches >

leaves in all treatments was a decrease in the percentage of leaves between 12 and 24 months , which is offset by increased biomass in the stem and branches.

Keywords: denser planting, planting arrangements, energy forests

3 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial baseada no consumo de combustíveis fósseis vem apresentando problemas de ordem ambiental e econômica. Com a diminuição da oferta deste material e aumento da demanda energética faz-se necessário que as fontes alternativas de energia tenham a capacidade de suprir o déficit energético. As nações desenvolvidas estão comprometidas em modificar sua matriz energética buscando soluções de energias limpas e renováveis.

Os plantios de eucalipto no Brasil estão entre os mais produtivos do mundo e apresentam um histórico de desenvolvimento de técnicas de manejo, melhoramento genético e adaptabilidade ambiental, que conferem a esta espécie altos valores de crescimento. Segundo a ABRAF (2013), o Brasil no ano de 2012, tinha 5.102.030 de hectares de florestas de eucalipto, ainda segundo esta mesma associação, 7% da energia elétrica gerada no ano de 2012 foi derivada de biomassa.

O principal objetivo das florestas com fins energéticos é suprir uma parcela da demanda energética gerada no país. Devido à grande representatividade que este setor tem em relação às áreas plantadas, vem se buscando alternativas e métodos silviculturais que melhor se adaptem para a produção de madeira para este determinado fim.

É possível que com alteração de manejo, sejam encontrados valores de incremento por área, maiores que os usuais. Os povoamentos podem ser manejados com o uso de um maior número de plantas por área. Para tanto são utilizados espaçamentos

menores do que os convencionais, de 2 a 3 metros entre plantas na linha, para espaçamentos de 0,5 a 1,5 metros entre plantas na linha ou uso de linhas duplas.

A alteração do manejo pode gerar alterações nas características físico-químicas da madeira e modificar a viabilidade econômica de um povoamento. A utilização de plantios adensados para produção de energia ainda não é uma prática comum entre as empresas florestais pela falta de eficiência no manejo. Entretanto, pelo potencial apresentado, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas e recomendações para que possam ser produzidas florestas energéticas de alta produtividade.

O objetivo deste trabalho foi identificar a influência do arranjo de plantio de um clone de *Eucalyptus grandis*, na densidade da madeira e no crescimento da espécie, avaliados aos 12 e 24 meses de idade.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Florestas energéticas

O Brasil é o terceiro maior país com cobertura florestal do mundo (FAO, 2012), possui cerca de 6.516.00 hectares de florestas plantadas e no período de 2002-2012 a taxa média anual de crescimento da área plantada com *Eucalyptus* cresceu 5,1% (ABRAF, 2013). A oferta de madeira de florestas plantadas é relativamente pouco flexível no curto prazo, e espera-se que a madeira para energia seja produto secundário dos plantios atuais, de modo que um aumento da madeira de silvicultura para outros fins poderá reduzir a quantidade ofertada desta madeira para energia, aumentando seu preço (MOREIRA, 2011).

Com a crise do petróleo, na década de 1970, e o consequente aumento no custo do barril, fez-se premente a substituição do petróleo por fontes alternativas de energia. Desse modo, as plantações florestais com finalidade energética, tornaram-se importante fonte alternativa em substituição ao petróleo e seus derivados (SMITH, 1989).

As plantações energéticas são sistemas que visam maior produção de biomassa por unidade de área, em um menor espaço de tempo. Assim, aliado ao conceito de plantações energéticas, surge o conceito de plantios de curta rotação. Plantar florestas com a finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à energia, como geração de eletricidade, cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, se comparada

com outros tipos de exploração de biomassa energética, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo (MULLER et al., 2005).

Na década de 1980, surgiu o neologismo “florestas energéticas”, utilizado para definir as plantações com grande número de árvores por hectare e, conseqüentemente, com ciclo curto, que tinha como finalidade a produção de maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo (MAGALHÃES, 1982). No entanto, essas experiências não apresentaram os resultados esperados, em função do pouco conhecimento técnico, da qualidade do material genético e do baixo desenvolvimento da silvicultura na época. Esse período foi marcado, essencialmente, por uma maioria de plantios com baixa produtividade e grande mortalidade, além dos impactos sobre a fertilidade e umidade do solo (MAGALHÃES, 1982).

A utilização de espaçamentos reduzidos foi uma técnica muito utilizada no Brasil, entre o final da década de 1970 e início da década de 80. Em 1979, conforme relata Coscarelli (2001), a Florestal Acesita introduziu o conceito de florestas superdensas, plantando até 40.000 mudas por hectare, quando o padrão era de 2.000 mudas. Sochacki et al. (2007), demonstraram que os maiores rendimentos de plantios no sistema foram com alta densidade (4000 árvores ha), para cada espécie houve um aumento significativo ($p < 0,001$) no volume, com aumento da densidade de plantio.

Conforme observado por Macedo (2003), as plantações energéticas têm um potencial bastante promissor como fonte de biomassa para geração de eletricidade. Este mesmo autor destacou que com as altas produtividades obtidas em plantações florestais (particularmente do gênero *Eucalyptus*), os custos de geração da eletricidade com madeira de reflorestamento podem ser minimizados, tornando o investimento mais atrativo. Entretanto, a biomassa florestal é um material volumoso com densidade relativamente baixa (400 e 900 kg/m³) (DEMIRBAS, 2001) e alto teor de umidade (HALL, 2002), o que traz dificuldades logísticas para a sua utilização. Uma maneira de lidar com os desafios encontrados, é utilizar tecnologias mais avançadas, que melhorem a qualidade da matéria-prima ou a eficiência do sistema. Ou ainda, outra solução para aperfeiçoar o desempenho da cadeia produtiva de bioenergia florestal, é otimizar a sua concepção e gestão.

Florestas de curta rotação têm um grande número de benefícios logísticos inerentes e vantagens econômicas relativamente a outras culturas energéticas.

Muitas destas vantagens são devido ao fato de que as árvores geralmente podem ser colhidas durante todo o ano e continuam a crescer ano após ano, o que reduz o risco de flutuações anuais de produção (HINCHEE et al., 2009). A colheita durante todo o ano possibilita o transporte de madeira que será distribuído ao longo do ano, reduzindo a infraestrutura necessária em relação às culturas anuais (SIMS & VENTURI, 2004). Foi projetado pelo Departamento de Energia dos EUA que uma taxa de produtividade de 20 a 30 toneladas secas/hectare/ano é necessária para a viabilidade em longo prazo das energias renováveis a partir de biomassa (ENGLISH et al., 2006).

Segundo Brito (2007), o uso de florestas com fins energéticos tem a possibilidade de sua exploração na maioria das regiões brasileiras, podendo assim reduzir a dependência das fontes tradicionais ou garantir a energia quando existe sazonalidade na geração pelas fontes convencionais. Além desta vantagem, é uma fonte de energia acessível a uma grande gama da população, por não necessitar de um massivo aporte de capital para sua produção, processamento e distribuição, como necessário para a exploração de outras fontes energéticas. Esta característica possibilita a participação de um grande número de pequenos produtores e consumidores no mercado de madeira para energia (BRITO, 2007).

4.2 Espaçamentos

A influência do espaçamento sobre o desenvolvimento e a produção de madeira pelos povoamentos florestais tem despertado o interesse de pesquisadores e proprietários florestais há longos anos. Para Smith (1962), o número ideal de árvores por unidade de área deve ser determinado pela quantidade que, podem crescer tirando o melhor e maior proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos florestais de dimensões, forma e qualidade mais convenientes.

O espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas plantadas, principalmente para as espécies de rápido crescimento, quando inadequado pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta, em razão da intensa competição intraespecífica por água, nutrientes, luz e espaço (LELES et al., 1998). Segundo Binkley et al. (2002), pode ocorrer redução na uniformidade de crescimento entre árvores e aumento na quantidade de árvores

dominadas, as quais possuem menor eficiência de utilização dos recursos do meio comparadas as árvores dominantes.

Do ponto de vista silvicultural, os plantios com menor espaçamento atingem a capacidade do sítio mais rapidamente, com a diminuição das dimensões dos produtos obtidos (ASSMANN, 1970). Porém, as diferenças iniciais de produção tornam-se cada vez menores com a idade, se anulando quando as árvores mais espaçadas utilizam completamente os recursos naturais disponíveis, resultando numa produção por hectare em todos os espaçamentos (BERGER et al., 2002).

O espaçamento praticado no plantio é um dos principais fatores que afetam a formação das florestas, seus tratos culturais, a qualidade da madeira, sua extração e conseqüentemente, os custos de produção (SIMÕES et al., 1976). Como regra geral, por um determinado tempo de rotação, um maior espaçamento leva à produção de biomassa total menor por unidade de área, mas à maior biomassa por árvore (SCHONAU & COETZEE, 1989). Árvores crescendo em densidades populacionais mais baixas atingem o nível de estresse causado pelos seus vizinhos mais tarde que, quando em densidades mais elevadas, o que se conclui que em densidades elevadas reduzirá seu tamanho (RADOSEVICH & OSTERYOUNG, 1987).

Reiner et al. (2011), estudando o desenvolvimento de eucalipto em diferentes espaçamentos concluiu que somente a partir dos 36 meses de idade o DAP apresentou diferença significativa, sendo maior para os espaçamentos menos adensados, proporcionando um maior volume por planta, mas esse maior DAP e maior volume por indivíduo, não superou o volume por hectare nos espaçamentos mais adensados. Mesma tendência foi encontrada por Sereghetti (2012), que ao avaliar a biomassa inicial de *Eucalyptus urograndis* em diferentes espaçamentos concluiu que em espaçamentos menores, embora as árvores apresentassem um volume individual inferior, obtiveram volumes por área superiores, quando comparados a espaçamentos mais amplos.

Oliveira Neto et al. (2010), trabalhando com *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e doses de adubação, observou que o crescimento em diâmetro apresentou comportamento linear crescente com o aumento da área útil por planta. Observou ainda que, independentemente do nível de adubação, houve aumento substancial no número de indivíduos nas classes diamétricas maiores com o aumento da área útil por planta.

O crescimento em altura é menos influenciado pelo espaçamento, podendo variar de acordo com a qualidade do sítio e a idade de avaliação. Fishwick (1976) verificou que, em sítios de melhor qualidade, o espaçamento tem pouco efeito sobre o crescimento em altura. Leles et al. (2001), observaram para *E. camaldulensis* e *E. pellita*, aos 52 meses de idade, maior influência do espaçamento sobre o diâmetro do que sobre a altura.

Garcia (2010), ao avaliar o desenvolvimento de um plantio de eucalipto em função do espaçamento e da adubação concluiu que a taxa de crescimento em altura decresceu em resposta ao aumento do espaçamento, independente da adubação, porém o crescimento em diâmetro aumentou em consequência do aumento do espaçamento.

Santos (2011) estudando efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone de eucalipto dos 36 aos 72 meses encontrou que, com o aumento do espaçamento de plantio, maior foi o crescimento em diâmetro e altura das árvores, consequentemente maior volume.

Nas florestas de muito curta rotação, as práticas de gestão para (preparo do solo, controle de ervas daninhas, plantio, adubação, colheita, entre outros) são mais semelhantes aos de culturas agrícolas anuais do que às práticas florestais, apesar do fato de que as espécies atualmente utilizadas em plantações comerciais deste tipo são arbóreas (DIMITRIOU et al., 2011).

Nestes casos os plantios são conduzidos de forma adensada, onde se encontram um maior número de indivíduos por hectare. Espaçamentos mais próximos promovem um maior índice de área foliar, o que aumenta a interceptação da luz e fotossíntese: a eficiência de conversão é regulada pelo fornecimento de água e de nutrientes (LANDSBERG & WARING, 1997). Em muitos estudos sobre *Eucalyptus*, a idade em que se atinge o máximo IAF coincide com a maior taxa de produção de biomassa (RYAN et al., 1997).

Ainda para Stape (1995), para um mesmo espaçamento, é possível a utilização de diferentes arranjos de plantio, ou seja, diferentes distâncias entrelinhas e entre plantas. Dá-se o nome de retangularidade (R , sendo que $R \geq 1$), à relação entre a maior e a menor destas distâncias de cada arranjo. Nesta experimentação com clones, houve a interação significativa clone x arranjo de plantio para as variáveis área basal, volume e percentagem de quebra (STAPE, 1995). Estudos indicam que o aumento da

relação do espaçamento entrelinha e entre plantas tende diminuir a uniformidade, o uso de luz e produtividade e aumentam o risco de competição de ervas daninhas e danos provocados pelo vento (STAPE & GONÇALVES, 2002).

Shimoyama & Barrichelo (1989) afirmaram que as práticas que aceleram o ritmo de crescimento das árvores resultam, no geral, numa ligeira diminuição da densidade da madeira, porém, essa queda é nitidamente recompensada pela maior produção de biomassa por unidade de área. Ainda segundo Bernardo et al. (1998), estudando três espécies de eucalipto, observaram o aumento do crescimento em diâmetro individual das árvores, devido ao aumento do espaçamento que não foi suficiente para compensar os valores menores em área basal por hectare, quando comparado com plantios mais adensados.

Em estudo sobre a influência da densidade de plantio em um clone de eucalipto, Muller et al. (2005) encontraram que os tratamentos com menor densidade de plantio apresentaram os maiores valores de DAP. Por outro lado, a área basal apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre as plantas. Ainda nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores volumes de madeira e peso de biomassa seca. Garcia (2010) estudando *Eucalyptus urograndis* em função do espaçamento e adubação observou um decréscimo do volume de madeira com casca por hectare, em razão do aumento da distância entre as árvores nos três níveis de adubação.

4.2.1. Influência do espaçamento na alocação de biomassa

O espaçamento de plantio pode afetar a alocação de biomassa nos diversos componentes da planta. Bernardo et al. (1998) observaram que, em espaçamentos mais abertos, houve redução na proporção da biomassa do tronco em relação a biomassa total, em razão do aumento da alocação da biomassa para folhas e raízes laterais, para *E. urophylla* e *E. pellita*, e das raízes com diâmetro superior a 2 mm, para *E. camaldulensis*. Leles (1995), também observou que, no espaçamento 9 x 9 m, a espécie *E. pellita* aloca grande parte de foto assimilados para produção de raízes, ou seja, em espaçamentos muito amplos pode ocorrer alocação de biomassa para componentes da árvore que não são explorados comercialmente.

Schumacher & Poggiani (1993), estudando três espécies de eucalipto sendo *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*, com 9, 9 e 12 anos de idade

respectivamente, nas três espécies o tronco (casca + lenho) representou em média 90% da biomassa acima do solo, sendo que para *E. grandis* a distribuição foi de 3,12% nas folhas, 5,13% nos galhos, 7,12% na casca e 84,62% no tronco.

Silva et al. (2004), estudando alocação de biomassa para *E. benthammi* em diferentes idades, concluíram que a alocação de biomassa foi diferenciada para cada idade. A alocação proporcional de biomassa obtida, respectivamente para madeira, casca, galhos e folhas, foi de 33, 3, 29 e 35 % para a idade de 12 meses; 51, 5, 25 e 19% para a idade de 24 meses; 63, 5, 18, 14 % para idade de 36 meses e de 71, 7, 15 e 7% para a idade de 48 meses.

4.3 Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira (DBM) é definida pela relação entre o peso da madeira seca e o seu volume obtido no ponto de saturação das fibras. Sendo reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da sua qualidade, por ser de fácil determinação e estar relacionada às suas demais características (SHIMOYMA & BARRICHELLO, 1991).

As variações na massa específica da madeira ocorrem, principalmente, devido à variação na espessura da parede celular e às alterações no volume de espaços vazios existentes no interior da madeira (DINWOODIE, 1981; PANSIN & ZEEUW, 1980). De acordo com Berger et al. (2002), a utilização de clones para a formação de florestas foi um dos grandes avanços que possibilitou maior produção, melhoria da qualidade da madeira e, especialmente, maior uniformidade das árvores na silvicultura brasileira. Porém a garantia da uniformidade não depende apenas da genética, uma vez que os fatores ambientais podem variar entre os indivíduos devido à qualidade das operações silviculturais, como preparo de solo, fertilização e controle da mata competição, afetando o crescimento individual das árvores e acelerando a competição intraespecífica e, consequentemente, reduzindo a produtividade florestal (STAPE et al., 2004).

Segundo Latorraca & Albuquerque (2000), a densidade da madeira pode ser alterada em função das características da própria espécie, bem como das influências externas, assim como variações ambientais e intervenções silviculturais. No gênero *Eucalyptus*, a densidade pode variar com a idade, com o vigor, com o local onde

crecem, com a taxa de crescimento, e na mesma árvore varia no sentido base-topo e na distância medula-casca (SOUZA et al., 1979).

A utilização da densidade básica, dentre outros fatores, é muito difundida por todo o mundo, visto que a madeira é uma substância higroscópica que, sob diferentes condições de umidade relativa e temperatura, adquire diferentes teores de água, levando a mesma amostra a diferentes massas e volumes (COSTA, 2006). Assim em condições absolutamente secas, a madeira apresenta a sua massa real sem a água e no máximo teor de umidade, também denominado “saturado” apresenta o seu máximo volume. Acima do “ponto de saturação das fibras”, a água ocorre na forma livre, não contribuindo para a variação dimensional da madeira (VITAL, 1984).

A DBM é característica importante para o melhoramento florestal, pois é passível de seleção por existir grande variação entre árvores. Apresenta alta herdabilidade, baixa interação genótipo x ambiente, é de fácil determinação e correlaciona positiva e fortemente a produção e a qualidade da madeira (BRASIL et al., 1980). Para Migliorini (1986), cada aplicação tecnológica apresenta vantagens e desvantagens quando se utiliza madeira de maior densidade. Alguns autores enfatizam os benefícios do uso da madeira de maior densidade que reflete na redução do manuseio e estocagem, aumenta o rendimento em peso de matéria seca no transporte e nos picadores, quando necessária à transformação da madeira em cavacos (NAMKOONG et al., 1966 apud MIGLIORINI, 1986).

Estudando a variação da densidade básica média de madeira obtida em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Ferreira (1970) concluiu existência de alta variabilidade individual dentro das classes de diâmetro analisadas, as árvores mais vigorosas tinham em média, maior densidade básica média que as menos vigorosas. Rezende & Ferraz (1985), estudando a influência da idade na densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* com 13 anos de idade, observaram que a densidade média acumulada anualmente na árvore cresceu até o 13º ano, verificando um aumento em rendimento de massa seca por unidade de volume, numa razão média de 1,5% ao ano. Trugilho (2009), estudando a densidade básica média em nove espécies de eucalipto em diferentes idades encontrou que, para as idades de cinco, seis e sete anos, os efeitos de espécie, idade e interação espécie x idade foram significativos para a densidade básica.

Segundo Brasil (1972), a densidade básica do lenho de *Eucalyptus propinqua*, avaliada em função do local e do espaçamento mostrou diferenças

significativas somente para locais, o autor coloca ainda que a densidade básica da madeira não foi influenciada pelo espaçamento, sendo que no sítio de crescimento inferior, as árvores formaram lenho de densidade básica mais alta.

Vital et al. (1981) não observaram em árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 2,6 anos o efeito significativo do espaçamento de plantio na densidade básica média do lenho no DAP e para a média do tronco. Na idade avaliada não houve diferença entre o espaçamento e a taxa de crescimento das árvores. Brasil & Ferreira (1971), analisando a variação da densidade básica do lenho de *Eucalyptus alba* (*E. urophylla*), *E. saligna* e *E. grandis*, aos 5 anos, concluíram que esta não foi influenciada pelo espaçamento, mas sim pelo local de plantio.

O envelhecimento das árvores promove transformações na madeira, como aumento da DBM e da proporção do cerne (FERREIRA et al., 1979; RIBEIRO & ZANI FILHO, 1993). Neste caso, o aumento da idade desempenhou um papel fundamental, ao condicionar o aumento da DBM (FERREIRA et al., 1979; PANSIN & ZEEUW, 1980). Os materiais de melhor qualidade para uso energético são os que possuem maior densidade básica da madeira, que por sua vez aumenta com a idade (CASTRO et al., 2013).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi instalado na Fazenda Lageado, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 22°50'23''S e 42°25'22''O. O clima predominante no município, segundo os critérios adotados por Koppen é Cfa, clima mesotérmico, com temperaturas médias superiores a 10°C, cuja temperatura do mês mais quente é igual ou superior a 22°C e o índice pluviométrico anual está em torno de 1516 mm. O tipo de solo da área em questão foi descrito por Pirolli (2002), e é classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico, conforme metodologia da Embrapa (1996).

5.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foi instalado um ensaio com diferentes arranjos de plantio variando a relação entre linhas e entre plantas, foram utilizados quatro espaçamentos de plantio, conforme pode ser visualizado nas Figuras 1 a 4, sendo que cada parcela tinha uma área de 20 metros x 90 metros (1800 m²). Os espaçamentos adotados foram:

Tratamento 1

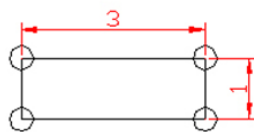


Figura 1. Espaçamento 3,0 m x 1,0 m (linha simples).

Tratamento 2

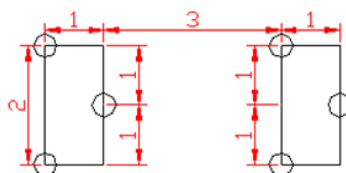


Figura 2. Espaçamento de 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m (linha dupla).

Tratamento 3

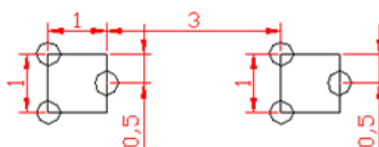


Figura 3. Espaçamento de 3,0 m x 1,0 m x 1,0 m (linha dupla).

Tratamento 4

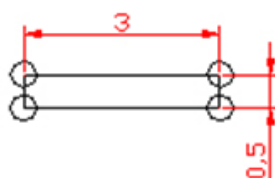


Figura 4. Espaçamento de 3,0 m x 0,5 m (linha simples).

5.3 Manejo e tratos culturais

A implantação do experimento foi realizada em uma área de aproximadamente 1 hectare, com o preparo de solo apenas na linha de cultivo, sendo feita uma subsolagem a 60 cm de profundidade. Previamente foi aplicado o herbicida pós-emergente, princípio ativo Glifosato na dosagem de 1440g de i.a.ha⁻¹. Em Junho de 2011 foram plantadas as mudas de clones *Eucalyptus grandis*, denominado G-21, da empresa LWARCEL CELULOSE. A adubação de plantio foi realizada apenas nas mudas, através

de covetas laterais, utilizando o adubo NPK, na formulação 7-37-7 com 100 gramas por planta. Foram realizadas duas adubações de cobertura, uma aos 90 dias após o plantio e outra aos 360 dias após o plantio, o adubo utilizado foi o NPK, na formulação 20-0-20 com 150 gramas por planta.

Após o plantio foi feita a aplicação de herbicida pré-emergente seletivo para eucalipto, princípio ativo Isoxaflutole na dosagem de 112,5 g i.a.ha⁻¹ gramas/hectare na linha de plantio. Foi realizado também o controle de formigas cortadeiras com o uso de iscas formicidas, princípio ativo Sulfluramida, distribuídos de forma sistemática, utilizando 10 gramas a cada 5 metros, nas entre linhas de plantio.

O experimento teve duração de 24 meses no campo, com a primeira colheita das árvores-amostra em Junho de 2012 e a segunda em Junho de 2013.

Para o cálculo de área basal, volume por hectare, biomassa total por hectare, os resultados encontrados para cada árvore foram multiplicados pela quantidade de árvores por hectare por tratamento (Tabela 1).

Tabela 1. Área útil e número de árvores por hectare por tratamento.

Tratamento	Espaçamento (m)	Área útil (m ²)	Árvores/ha
1	3,0 x 1,0	3	3333
2	3,0 x 1,0 x 2,0	4	2500
3	3,0 x 1,0 x 1,0	2	5000
4	3,0 x 0,5	1,5	6667

5.4 Avaliações dendrométricas

Foram feitas avaliações aos 12 e 24 meses, onde foram mensurados os dados de DAP de 30 árvores centrais de cada tratamento com auxílio de uma suta, conforme metodologia utilizada por Garcia (2010). As avaliações foram feitas na mesma região da parcela, na qual foi desconsiderada uma linha de plantio na bordadura e as cinco árvores limítrofes da parcela no sentido transversal.

5.4.1 Área basal

A área basal do povoamento, somatório das áreas transversais de todas as árvores, foi calculada a partir das médias das áreas transversais (g) multiplicada pela quantidade de árvores por hectare em cada tratamento, conforme Equação (1):

$$AB = g n \quad (1)$$

Em que:

AB = área basal do tratamento (m^2/ha)

g = área transversal média de cada tratamento (m^2)

n = número de árvores por hectare

5.4.2 Coleta de árvores-amostra

O procedimento adotado para a escolha das árvores-amostra foi realizado conforme o estudo de Soares et al. (1996), em que são consideradas as árvores representativas do povoamento as que apresentam o diâmetro quadrático médio. Quatro árvores-amostra foram escolhidas no talhão, de forma que foram abatidas as árvores com o diâmetro mais próximo do diâmetro quadrático médio calculado para o tratamento. As árvores-amostra foram utilizadas para determinação do volume e retiradas das amostras para a determinação da densidade.

Foi calculado o diâmetro quadrático médio (q) das populações por meio da Equação (2), utilizada por Campos & Leite (2002):

$$q = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad (2)$$

Em que:

q - diâmetro médio ou quadrático, em cm;

d - diâmetro de cada árvore, em cm;

n - número de árvores.

5.4.3 Volume

Aos 12 e 24 meses de idade foram abatidas quatro árvores- amostra e tiveram seu volume determinado pela cubagem rigorosa, pelo Método de Smalian, as árvores foram seccionadas em 0%, 25%, 50%, 75% da altura total. Foram tomadas duas medidas de diâmetro de cada seção, sendo uma medida em cada extremidade e o volume foi calculado conforme as Equações de (3 a 5).

$$V_s = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \ell \quad (3)$$

Em que:

V_s = Volume de cada seção (m^3);

g_1 = Área transversal da extremidade com maior diâmetro (m^2);

g_2 = Área transversal da extremidade com menor diâmetro (m^2);

ℓ = Comprimento da seção (m).

$$g_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (4)$$

$$g_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \quad (5)$$

Em que:

g_1 = área transversal na base da seção (m^2);

g_2 = área trasnversal no topo da seção (m^2);

d_1 = diâmetro na base da seção (m);

d_2 = diâmetro no topo da seção(m).

A última seção da árvore, no topo, é assumida como o valor do volume de um cone, segundo a Equação (6).

$$V_p = \frac{g_p \ell_p}{3} \quad (6)$$

Em que:

V_p = Volume do ponteiro (m^3);

g_p = Área transversal da ultima seção (m^2);

ℓ_p = Comprimento da última seção (m).

Logo o volume total da árvore foi obtido pelo somatório dos volumes de cada seção, conforme Equação (7):

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_t \quad (7)$$

5.4.4 Determinação da densidade

Os discos utilizados para se determinar a densidade básica da madeira com casca foram os referentes a 0%, 25%, 50% e 75% da altura total da árvore (VITAL, 1984), sendo que todos os discos tinham cerca de 5 cm de espessura e os discos coletados na região do topo tinham, no mínimo, 3 cm de diâmetro. Ainda em campo as amostras foram identificadas conforme o tratamento e posição na árvore e acondicionadas em sacos plásticos contendo água para não perder umidade. No laboratório o material foi acondicionado em recipientes contendo água permanecendo por cerca de 20 dias (COSTA, 2006) ou até que o material afundasse apresentando completa saturação.



Figura 5. Amostras identificadas para determinação de densidade.

A determinação da densidade segue método de imersão em água utilizado por Rezende (1997), que consiste em imergir as amostras por cerca de 10 segundos e determinar a massa do volume de água deslocado por meio do empuxo, após a determinação do volume, as amostras foram levadas a estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até atingirem massa constante para a determinação do peso seco, conforme Equação (8).

$$\rho = \frac{M_s}{V_u} \quad (8)$$

Em que:

ρ = densidade básica (kg/m^3);

M_s = Massa seca (kg);

V_u = Volume úmido da amostra (m^3)

A densidade ponderada de cada árvore-amostra ρ (*pond*) foi determinada utilizando a Equação (9).

$$\rho_{pond} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3 + \rho_4 V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} \quad (9)$$

Em que:

V_i = volume da seção na posição i (m^3);

ρ_i = densidade de cada disco na posição i (m^3)

5.4.5 Determinação da biomassa

A determinação da biomassa foi feita utilizando-se os métodos direto e destrutivo de árvores (SANQUETA, 2002).

Depois de abatida, cada árvore-amostra teve todas as folhas (P_{uf}) e galhos (P_{ug}) retirados, separadamente toda a biomassa foi pesada no campo para a determinação do peso úmido, com auxílio de uma balança digital móvel da marca Black & Decker, modelo BB20, com capacidade máxima de 150 Kg e escala de 0,1 kg.



Figura 6. Folhas (a) e galhos (b) coletados de um mesmo indivíduo.

Em seguida, foi retirada uma amostra representativa, aproximadamente 200 gramas, de cada material para determinação da matéria seca, acondicionadas em sacos plásticos para manter a umidade. Cada amostra teve seu peso úmido medido em laboratório com auxílio de uma balança de precisão escala de 0,1 g, logo após as amostras foram levadas a uma estufa de circulação de ar forçada a $65 \pm 2^\circ \text{C}$ e mantidos até obtenção do peso constante, o peso seco e a matéria seca da amostra foram determinados pela Equação (10).

$$M_s = 1 - \left(\frac{P_u - P_s}{P_u} \right) \quad (10)$$

Em que:

M_s = Matéria seca

P_u = Peso úmido (kg)

P_s = Peso seco (kg)

O valor biomassa seca de folhas e galhos foi calculado conforme Equações (11 e 12).

$$B_{sf} = P_{uf} M_{sf} \quad (11)$$

$$B_{sg} = P_{ug}M_{sg} \quad (12)$$

Em que:

B_{sf} = Biomassa seca de folhas (kg)

B_{sg} = Biomassa seca de galhos (kg)

P_{uf} = Peso úmido de folhas (kg)

P_{ug} = Peso úmido de galhos (kg)

M_{sf} = Matéria seca de folhas (kg)

M_{sg} = Matéria seca de galhos (kg)

A determinação de biomassa do tronco foi obtida pela Equação (13).

$$B_{st} = V_t \rho_{pond} \quad (13)$$

Em que:

B_{st} = Biomassa seca do tronco (kg)

V_t = Volume do tronco (m³)

ρ_{pond} = Densidade básica média (kg/m³)

5.5 Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente através de um teste comparativo de médias. Para comparar as variáveis: diâmetro, área basal, volume, densidade básica e biomassa aérea total, foram utilizados o teste de Tukey a um nível de 5 % de significância. As fontes de variação analisadas foram os tratamentos, idade e a interação espaçamento x idade.

6 RESULTADOS

6.1 Diâmetro médio

Os valores de diâmetro médio, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância para o diâmetro médio.

Fator de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Espaçamento	3	166,96	55,65	11,811	0,00
Idade	1	250,59	250,59	339,197	0,00
Espaçamento*Idade	3	6,00	2,00	2,707	0,05
Erro	232	171,40	0,74		

Os valores encontrados na Figura 7 mostram a influência do espaçamento e idade sobre o diâmetro médio. Aos 24 meses os valores encontrados foram equivalentes à área útil disponível por planta, em que no espaçamento de maior área útil, 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m, foi encontrado o maior valor de diâmetro, mesmos resultados foram encontrados por (LELES et al., 2001; BERGER et al., 2002; MULLER et al., 2005; GARCIA, 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010).

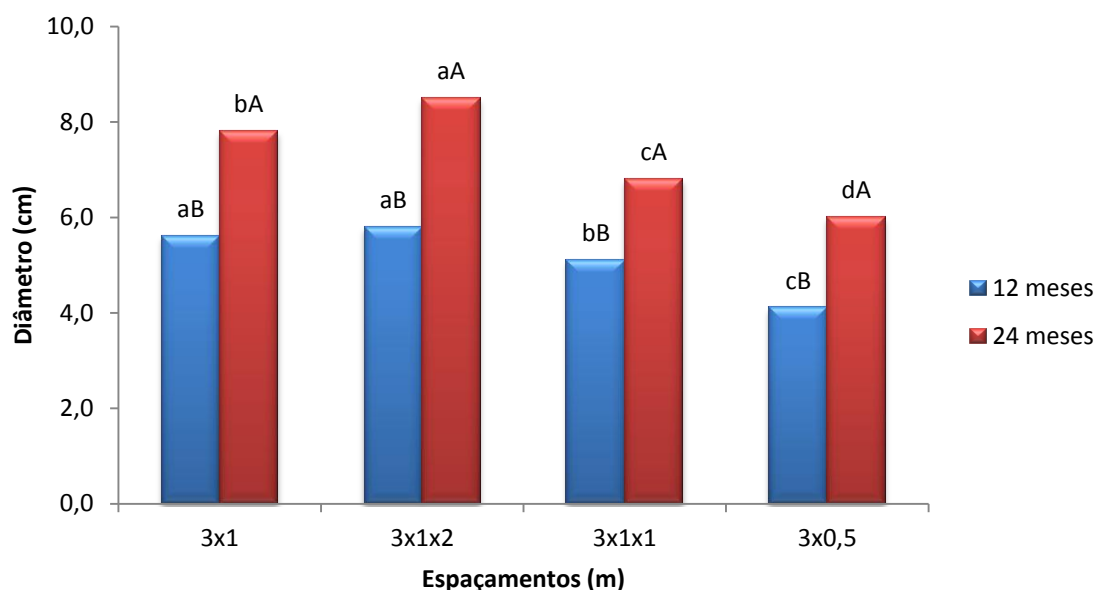


Figura 7. Diâmetro médio aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas entre espaçamentos iguais não diferem entre si.

A oferta de recursos (particularmente água e nutrientes) influencia fortemente a produção de madeira (LANDSBERG, 2003), com isso o menor crescimento em diâmetro nos espaçamentos mais adensados, está relacionado à competição, fazendo com que as plantas tenham uma taxa de crescimento menor do que em espaçamentos mais amplos. Em todos os tratamentos houve aumento significativo em diâmetro entre as duas idades avaliadas.

6.2 Área basal

A área basal foi influenciada pelo espaçamento e pela idade, apresentando um valor de $p < 0,00$ conforme Tabela 3.

Tabela 3. Análise de variância para área basal.

Fator de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Espaçamento	3	506,94	168,98	11,81	0,00
Idade	1	3227,18	3227,18	225,56	0,00
Espaçamento*Idade	3	87,28	29,09	2,03	0,10
Erro	232	3319,32	14,31		

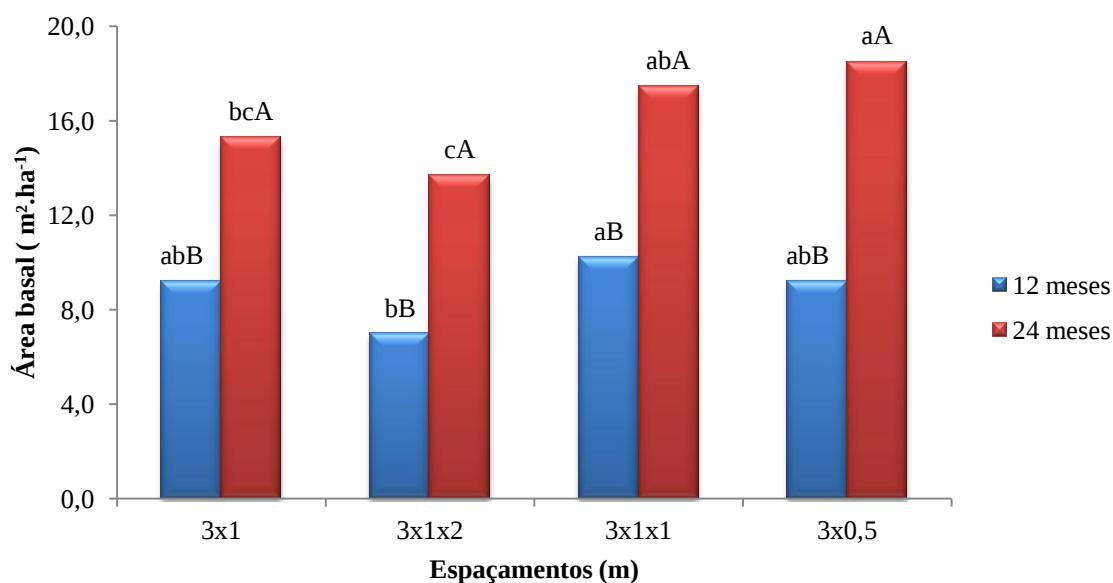


Figura 8. Área basal aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas entre espaçamentos iguais não diferem entre si.

Aos 12 meses somente o espaçamento 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m apresentou área basal significativamente inferior às demais, já aos 24 meses a diferença entre os tratamentos foi maior, sendo o espaçamento 3,0 m x 0,5 m o que apresentou maior área basal e o 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m a menor área basal. Segundo Pinkard e Neilsen (2003), o efeito do número de árvores por unidade de área é fundamental na determinação dos valores de maior produtividade observada nos espaçamentos mais adensados. Pode-se verificar ainda que para todos os espaçamentos a idade de avaliação foi significativa para a variável analisada (Figura 8).

Os valores encontrados na Figura 8 demonstram a relação direta entre o aumento do número de plantas e a área basal, evidenciando que apesar do diâmetro médio (Tabela 2) apresentar maior valor nos espaçamentos 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m, este não foi suficiente para compensar o aumento do número de árvores por área, nas parcelas analisadas. Este padrão também foi encontrado por Schneider et al. (2000); Muller et al. (2005); Garcia (2010); Santos (2011); Paulino (2012); Leite et al. (2006).

Houve aumento significativo na área basal entre as duas idades analisadas, evidenciando que não houve estagnação do crescimento, mesmo no espaçamento mais adensado, 3,0 m x 0,5 m.

6.3 Volume

O volume por hectare foi influenciado pelo espaçamento, mesmos resultados foram encontrados por Garcia et al. (1991), Leles et al. (2001), Muller et al. (2005), e pela idade conforme Tabela 4.

Tabela 4. Análise de variância para o volume.

Fator de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Espaçamento	3	2582,58	860,86	9,68	0,00
Idade	1	39243,41	39243,41	441,23	0,00
Espaçamento*Idade	3	370,33	123,44	1,39	0,27
Erro	24	2134,57	88,94		

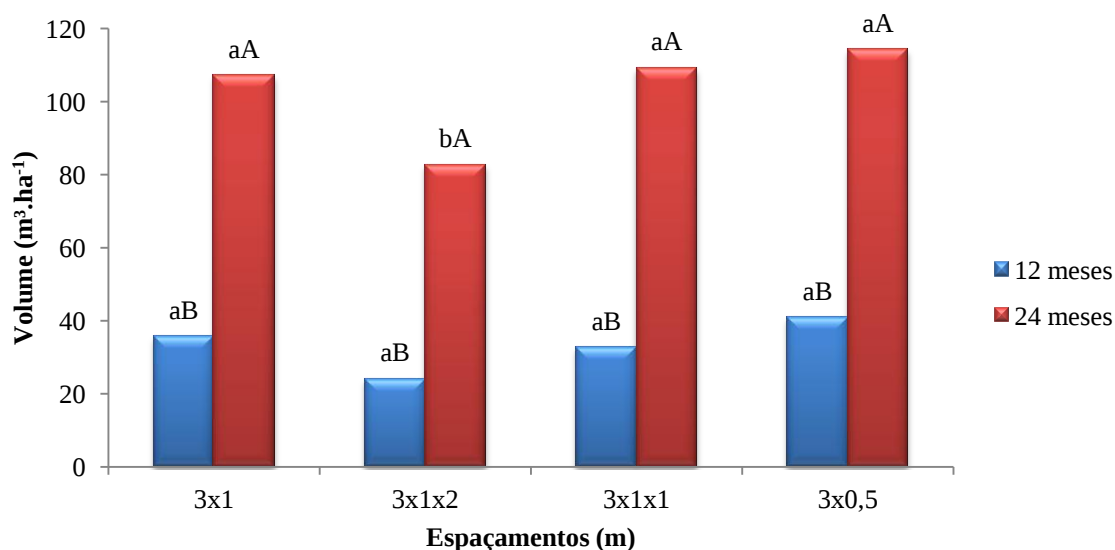


Figura 9. Volume aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas entre espaçamentos iguais não diferem entre si.

Pode-se observar na Figura 9, que aos 12 meses de idade não foi verificado influência do espaçamento sobre o volume, já aos 24 meses somente o espaçamento menos adensado, 3,0 m x 1,0 m x 2,0m, apresentou volume inferior aos demais tratamentos, mesma tendência foi encontrada por Reiner et al. (2011), estudando *Eucalyptus dunni* em diferentes espaçamentos, as diferenças entre os espaçamentos foram significativamente diferentes somente com o aumento das idades de avaliação.

Em todos os espaçamentos ocorreu aumento significativo do volume entre os dois períodos de avaliação, evidenciando que não houve restrição de crescimento mesmo no espaçamento mais adensado, 3,0 m x 0,5 m. Aos 24 meses de idade os valores de volume para todos os espaçamentos, foram significativamente maiores.

Normalmente em espaçamentos mais adensados existe um aumento da competição por recursos e conforme Tschieder et al. (2012), o crescimento das plantações mudam com a idade da floresta, atingindo um pico relativamente cedo seguido por um declínio substancial. No presente estudo aos 24 meses, os valores de volume por hectare encontrado foram estatisticamente iguais, mesmo com um aumento do número de indivíduos por hectare, demonstrando que houve competição entre os recursos. Binkley et al. (2002) sugeriram que as mudanças na estrutura do plantio contribuem para a redução do crescimento pelo aumento da diferença na eficiência do uso de recursos entre árvores dominante e dominadas, entretanto estas diferenças não são significativas em plantios jovens de *Eucalyptus spp.*

Após o fechamento do dossel, a competição intraespecífica por recursos se torna forte e em regiões secas, a disponibilidade de água pode impor graves limitações para o crescimento da floresta e reduzir lotação (STAPE, 2002). Por exemplo, em algumas plantações no nordeste brasileiro, com densidades iniciais de 1600-2500 árvores ha⁻¹ podem diminuir a 900-1000 de árvores ha⁻¹ aos 7 anos de idade (GONÇALVES et al., 1997).

Binkley et al. (2002) concluíram que a produtividade é afetada devido a dois fatores principais: competição e eficiência de uso dos recursos. A diminuição da produtividade de um sítio que ocorre logo após o fechamento das copas, pode ser relacionada principalmente por mudanças na dominância entre as árvores e pela diminuição da eficiência da utilização dos recursos em árvores dominadas. Espaçamentos mais adensados promovem um maior desenvolvimento do IAF que aumenta a interceptação de luz e fotossíntese (LANDSBERG & WARING, 1997). Em muitos estudos de *Eucalyptus*, o pico do IAF coincide com a maior taxa de produção de biomassa (RYAN et al., 1997), que para Xavier et al. (2002) ocorreu entre os 3 a 4 anos, estudando *Eucalyptus* com espaçamento de 3,0 m x 3,0 m.

6.4 Densidade

A densidade básica da madeira foi influenciada significativamente pelo espaçamento, idade e também a interação entre os dois fatores, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Análise de variância da densidade básica.

Fator de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Espaçamento	3	7953,37	2651,12	20,16	0,00
Idade	1	4132,77	4132,77	31,44	0,00
Espaçamento*Idade	3	1238,35	412,78	3,14	0,04
Erro	24	3155,10	131,46		

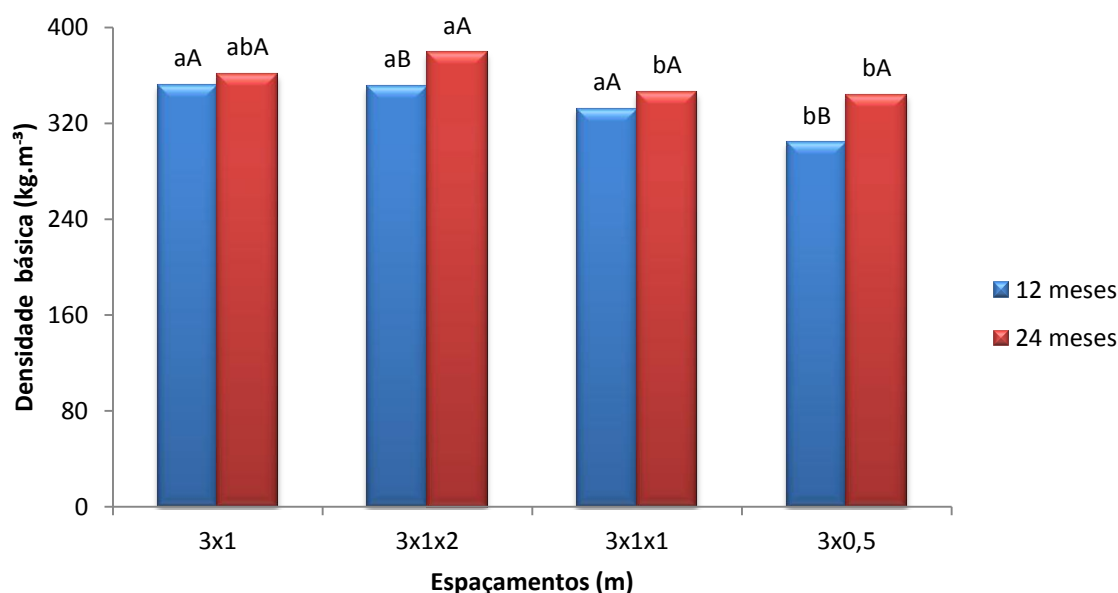


Figura 10. Densidade básica aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas entre espaçamentos iguais não diferem entre si.

Aos 12 meses de idade somente o espaçamento 3,0 m x 0,5 m apresentou um menor valor significativo, já aos 24 meses os espaçamentos mais amplos 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 1,0 m apresentaram um valor de densidade básica maior (Figura 10). Berger (2000), trabalhando com clones de *Eucalyptus saligna*, observou um aumento da DB com o aumento do espaçamento, Garcia et al. (1991) encontraram uma diminuição da DB da madeira com o aumento do espaçamento, Goulart et al. (2003) concluíram que houve redução da densidade básica com o aumento do espaçamento, pode-se perceber que não existe um consenso entre os autores sobre a influência do espaçamento sobre a densidade básica.

Muitos autores acreditam que quanto maior o crescimento em diâmetro, menor é a massa específica básica o que, na realidade, não é regra geral para o *Eucalyptus* (SOUZA et al., 1986). No presente trabalho a maior densidade básica pode ser explicada pela menor competição nos espaçamentos mais amplos produzindo árvores mais densas. Trabalhando com crescimento, Christina et al. (2011) encontraram taxas de crescimento quase simétricas acima e abaixo do solo em plantios de eucalipto sugerindo que árvores maiores têm um maior potencial para explorar o solo, quando comparadas com árvores menores. Ainda, segundo Campoe et al. (2013) estudando a influência de árvores dominadas encontraram que a absorção de luz aumentou exponencialmente com o aumento da área foliar. Onde as árvores maiores tiveram maior área foliar, maior crescimento de tronco e maior absorção de luz.

Em relação à idade de avaliação, somente os espaçamentos 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 0,5 m foram influenciados significativamente, sendo que aos 24 meses os valores encontrados foram maiores nestes espaçamentos. Vital et al. (1984) observaram aumento linear da densidade básica do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* do primeiro ao sétimo ano de idade, resultado idêntico foi encontrado por Trugilho et al. (1996), Trugilho (2009), Jammal Filho (2011), Castro (2011). Segundo Vital et al. (1984), existe a tendência de a densidade aumentar com a maturidade da árvore como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células.

6.5 Biomassa aérea total e alocação de biomassa

A Tabela 6 apresenta os valores de biomassa aérea seca por hectare, mostrando que aos 12 meses de idade não foram encontradas diferenças significativas em função do espaçamento, seguindo o mesmo resultado encontrado para o volume.

Tabela 6. Análise de variância da biomassa aérea seca.

Fator de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Espaçamento	3	407,12	135,71	3,14	0,04
Idade	1	10353,96	10353,96	239,63	0,00
Espaçamento*Idade	3	216,83	72,28	1,67	0,19
Erro	24	1036,98	43,21		

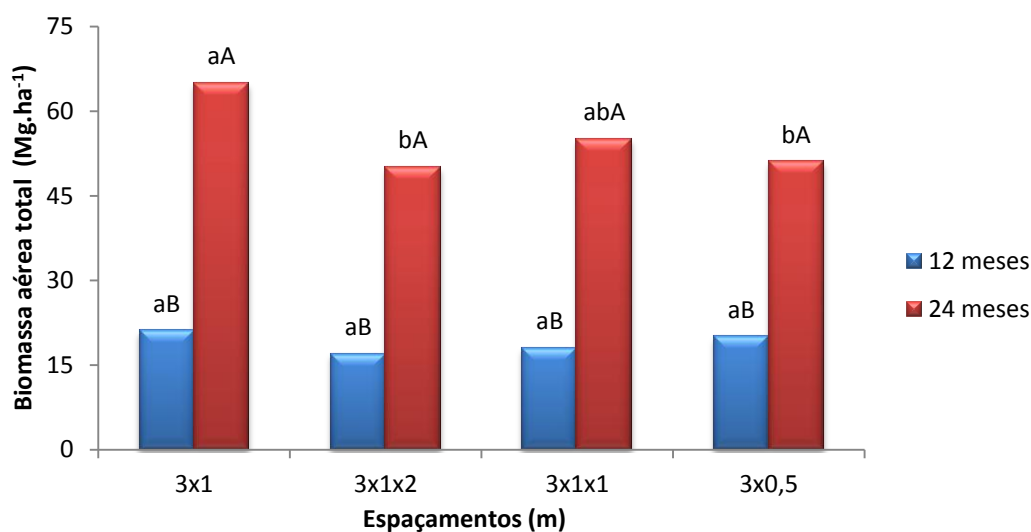


Figura 11. Biomassa aérea total aos 12 e 24 meses de idade. Conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade – letras maiúsculas entre idades e letras minúsculas entre espaçamentos iguais não diferem entre si.

Aos 24 meses os espaçamentos 3,0 m x 1,0 m e 3,0 m x 1,0 m x 1,0 m apresentaram um valor de biomassa total maior. Observa-se que houve aumento da biomassa entre as duas idades analisadas e esta foi significativa em todos os espaçamentos avaliados (Figura 11). Como regra geral, por um determinado tempo de rotação, um maior espaçamento leva à produção de biomassa total menor por unidade de área, mas a uma maior biomassa por árvore (SCHONAU & COETZEE, 1989).

Diversos autores verificaram o comportamento do desenvolvimento em função do espaçamento concluindo que em espaçamentos mais amplos, a produção da parte aérea é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos (LEITE et al., 1997; GARCIA et al., 1991; LELES et al., 2001; SILVA, 2005; GARCIA, 2010).

Comparando a produtividade encontrada nos plantios adensados no presente estudo com povoamentos clonais de *Eucalyptus* no Congo, Laclau et al. (2000) encontraram um valor de biomassa acima do solo de 9,2 Mg.ha⁻¹ para povoamentos aos 12 meses, na Índia, povoamentos com 8 anos de idade de *E. tereticornis* acumularam 64 Mg.ha⁻¹ de biomassa acima do solo (YAMADA, 2004), demonstrando o potencial do plantio adensado para a produção de biomassa no Brasil onde foram encontrados valores de biomassa significativamente maiores.

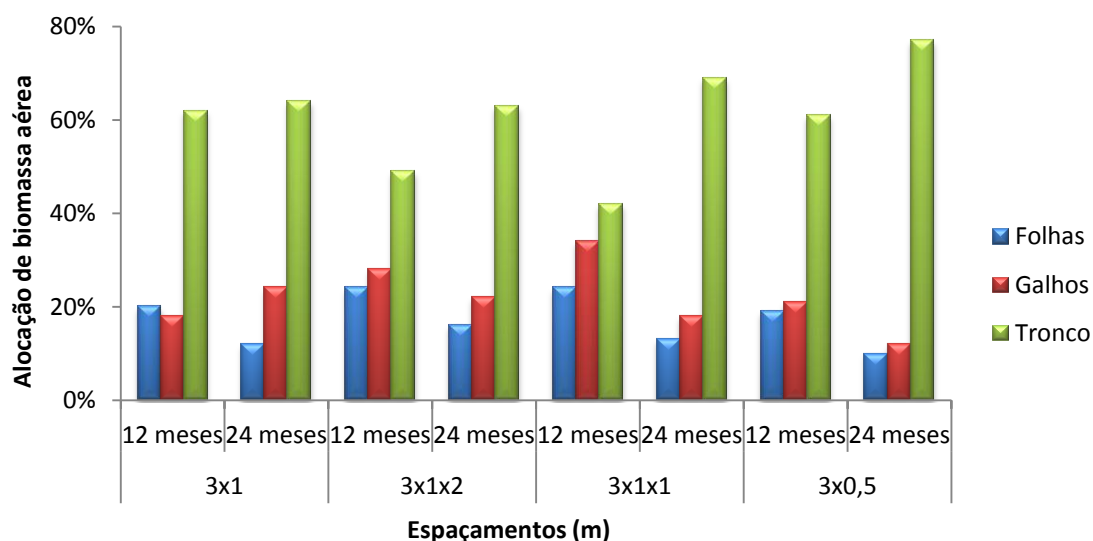


Figura 12. Alocação de biomassa aérea aos 12 e 24 meses de idade.

Para a alocação de biomassa nos diferentes compartimentos (Figura 12) foi encontrada a seguinte sequência tronco>galhos>folhas, apenas com exceção ao espaçamento 3,0 m x 1,0 m foi encontrado uma maior porcentagem de folhas em relação aos galhos. Pode-se notar também que houve em todos os tratamentos um decréscimo da porcentagem de folhas entre os 12 e 24 meses, sendo este compensado pelo aumento de biomassa nos galhos e tronco.

A alocação de biomassa nas diferentes partes da árvore é significativamente afetada pelo espaçamento (GONÇALVES & MELLO, 2004). Por exemplo, Bernardo et al. (1998) observou em sítios com maiores espaçamentos de *E. urophylla* e *E. pellita* que ocorreu uma redução entre relação de biomassa de tronco e biomassa total, devido a uma maior alocação de biomassa nas folhas e raízes. Em sítios de *E. camaldulensis*, os autores observaram um aumento na alocação de biomassa nas raízes maiores do que 2 mm, em detrimento da produção biomassa de tronco. As diferentes respostas para espaçamento, considerando produção e alocação de biomassa podem ocorrer devido a qualidade do sítio, levando em conta a água, os nutrientes e as condições de luminosidade (GONÇALVES & MELLO, 2004).

A proporção de biomassa obtida entre os diferentes componentes nos resultados presentes são próximas das estimativas obtidas na Austrália por Cromer (1996), para povoamentos com 4 anos de idade, folhas 16%; lenho de 57%, casca 12% e galhos 13%. Em plantios com 5 anos de idade de *E. globulus*, os autores Schonau e Boden

(1982) encontraram que o lenho contribuiu com 58% da biomassa acima do solo, galhos com 17%, casca com 18% e folhas com 7%.

Oguri (2012) estudando a influência do espaçamento em *Eucalyptus urograndis*, ao diminuir o número de árvores por unidade de área houve um acréscimo de biomassa de folhas, principalmente em razão da menor concorrência nas copas das árvores nos espaçamentos menos adensados. Ocorre aumento na proporção de madeira com a idade, enquanto a proporção de folhas e galhos diminui (PEICHL & ARAIN, 2007) e a alocação da biomassa varia com a idade (PAJTIK et al., 2008).

A biomassa acima do solo é responsável pela maior parte da biomassa total da árvore, com os troncos, galhos e folhas, uma contribuição de 73,7, 22,3 e 4,0 %, respectivamente (KUYAH et al., 2013). A biomassa de tronco foi superior a 75 % no espaçamento de 3,0 m x 0,5 m aos 24 meses, foram encontrados resultados semelhantes nos estudos sobre o crescimento de *E. globulus* em plantações centrais etíopes (ZEWDIE et al., 2009) e *E. nitens* plantados na costa de Arauco, no Chile (MUÑOZ et al., 2008), ambos os estudos relataram a proporção de biomassa do tronco superior a 75% da biomassa.

Quando os plantios são muito jovens, menores de 2 anos de idade, a biomassa da copa constitui o componente principal da árvore. Isto é devido ao fato que no primeiro estágio de crescimento, o máximo desenvolvimento foliar pode ser crucial para a sobrevivência em condições de competição (PEICHL & ARAIN, 2007). No entanto, este padrão muda quando o fechamento da copa é alcançado e o crescimento de tronco é acentuado para assegurar a estabilidade da árvore (PEICHL & ARAIN, 2007; PAJTIK et al., 2008).

7 CONCLUSÕES

O clone de *Eucalyptus grandis* G-21, apresentou diferença significativa para as variáveis: diâmetro, área basal, densidade e biomassa aérea total em função dos espaçamentos e idade de avaliação.

Foi encontrado no espaçamento com menor área útil, 3,0 m x 0,5 m, um menor diâmetro médio, mas uma maior área basal e maior volume por hectare.

A densidade básica da madeira foi maior nos espaçamentos 3,0 m x 1,0 m; 3,0 m x 1,0 m x 2,0 m e 3,0 x 1,0 m x 1,0 m aos 24 meses de idade.

A biomassa aérea total apresentou diferença somente aos 24 meses de idade, sendo os maiores valores encontrados nos espaçamentos 3,0 m x 1,0 m e 3,0 m x 1,0 m x 1,0 m. A distribuição de biomassa apresentou a sequência tronco>galhos>folhas, independente do espaçamento e da idade.

8 REFERÊNCIAS

ADEGBIDI, H. G. et al. Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 20, n.6, p. 399 - 411, 2001.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970, 506p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.zip>>. Acesso em: 10 mai. 2013.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 2000. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 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 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

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

BINKLEY, D. et al. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, n.1, p. 58–67, 2002.

BINKLEY, D. et al. Light absorption and use efficiency in forests: why patterns differ for trees and stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 288, p. 5–13, 2013.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *E. alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden, aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 129-149, 1971.

BRASIL, M. A. M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propínqua* em função do local e do espaçamento**. 1972. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, Piracicaba, n. 5, v. 7, p. 81-90, 1972.

BRASIL, M. A. M. et al. Densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* em três regiões do Estado de São Paulo. **Silvicultura**, São Paulo, v. 2, n. 16, p. 81-90, 1980.

BRITO, C. C. R. et al. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 175-185, 2007.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 407 p.

CAMPOE, O. C. et al. 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**, Amsterdam, v. 288, n. 1, p. 14–20, 2013.

CASTRO, A. F. N. M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CHRISTINA, M. et al. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, New York, v. 2, n. 3, p. 1–10, 2011.

COSCARELLI, E. G. V. Pequena história de uma grande floresta. In: MELLO, M. G. (Ed). **Biomassa: energia dos trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH. 2001. p. 103-114.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CROMER, R. N. Silviculture of Eucalyptus plantations in Australia. In: ATTIWILL, P. M., ADAMS, P. M. **Nutrition of Eucalyptus**. Canbera, Australia: CSIRO, 1996. p. 259-273.

DEMIRBAS, A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management**, Belton, v. 42, n. 11, p. 1357–1378, 2001.

DINWOODIE, J. N. **Timber its nature and behavior**. New York: Reinhold, 1981. 190 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília, DF, 1996. 212 p.

ENGLISH, B. C. et al. 2006. **25% Renewable energy for the United States by 2025: Agricultural and Economic Impacts**. Department of Agricultural Economic Impacts, University of Tennessee. Disponível em: <<http://www.agpolicy.org/ppap/REPORT%2025x25.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

FAUNDEZ, P. Potential costs of four short-rotation silvicultural regimes used for the production of energy, **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, n. 24, p. 373-380, 2003.

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M. de; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Mogi-Guaçu-SP. **IPEF**, Piracicaba, n.18, p.106-117, 1979.

FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 1970. 62 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

FISHWICK, R. W. Estudos de espaçamentos e desbaste em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 7, n. 26, p. 13-23, 1976.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO, State of the world's forests 2012**. Rome, 2012. 60 p.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. IPEF, Piracicaba, p. 10, 1991. (Circular Técnica, 179).

GARCIA, E. A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando à colheita precoce para utilização em bioenergia.** 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Soil and stand management for short-rotation plantations In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A.G. (Eds.). **Management of soil, water, and nutrients in tropical plantation forests.** Canberra: ACIAR, 1997. p. 379–418. (Monograph 43)

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root System of trees. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forest Nutrition and fertilization.** Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 223-267.

GOULART, M. et al. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

HALL, J. P. Sustainable production of forest biomass for energy. **Forestry Chronicle**, Canadá, v. 78, n. 3, p. 391–396, 2002.

HINCHEE, M. et al. Short-rotation woody crops for bioenergy and biofuels applications. **In Vitro Cellular & Development Biology - Plant**, United Kingdom, v. 45, p.619–629, 2009.

DIMITRIOU, I. et al. **Quantifying environmental effects of Short Rotation Coppice (SRC) on biodiversity, soil and water.** IEA Bioenergy, Task 43, p. 34, 2011.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama.** 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

KAUPPI, P. E.; TOMPPA, E.; FERM, A. C and N storage in living trees within Finland since 1950s. **Plant Soil**, Dordrecht, n. 168-169, p. 633-638, 1995.

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and Bellow-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 55, n.1, p. 276-284, 2013.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181–196, 2000.

LANDSBERG, J. J. Modelling forest ecosystems: state of the art, challenges, and future directions. **Canadian Journal of Forest Research**, Canada, v. 33, n. 3, p. 385–397, 2003.

- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 95, n. 3, p. 209–228, 1997.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeitos do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira, **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291. 2000.
- LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 603-613, 2006.
- LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E.camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. 1995. 133 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- 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, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.
- LELES, P. S. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 77-87, 2001.
- LE MAIRE, G. et al. Tree and stand light use efficiencies over a full rotation of single- and mixed-species *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 288, n. 1, p. 31–42, 2013.
- MACEDO, I. C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2003. 90 p.
- MAGALHÃES, J. G. R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS, **Anais...** Belo Horizonte, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, 1982. p. 56-66.
- MARCOLINO, L. **Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo**. 2010. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.
- MIGLIORINI, A. J. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta**. 1986. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 363-372, 2011.

MULLER, M. D. et al. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

MUÑOZ, F. et al. The effect of pruning and thinning on aboveground aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 2, p. 365-373, 2008.

NAMKOONG, G. Application of Nelder's designs in tree improvement research. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah. **Proceedings...** Macon: SCFTI, 1966. p. 24-37.

OGURI, G. **Correlação entre biomassa e nutrientes de galhos e folhas em um plantio adensado de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2012. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

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

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

PAJTIK, J.; KONOPKA, B.; LUKAC, M. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 5, p. 1096-1103, 2008.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

PAULINO, E. J. **Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantios de eucalipto**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

PEICHL, M.; ARAIN, M. A. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 253, n. 1 e 3, p. 68-80, 2007.

PEREIRA, B.L.C. et al. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. **International Journal of Forestry Research**, New York, v. 23, p. 1-8, 2012.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n. 2 e 3, p. 215-227, 2003.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu - SP**. 2002. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RADOSEVICH, S. R.; OSTERYOUNG, K. Principles governing plant environment interactions. In: WALSTAD, J. D.; KUCH, P. J. **Forest vegetation management for conifer production**. New York: John Wiley, 1987. p. 105-156.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2011.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 30, p.37-41, 1985.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 138f. Tese (Livre-Docência)–Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

RIBEIRO, F. de A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, v. 46, p.76-85, 1993.

RYAN, M.G., BINKLEY, D., FOWNES, J. H., Age-related decline in forest productivity: pattern and process. **Advances in Ecology Resource**, United Kingdom, v. 27, p. 213–262, 1997.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SCHNEIDER, P. R. et al. Crescimento da acácia negra, *Acacia mearnsii* de Wild em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SCHONAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 29, n.4, p. 245–266, 1989.

SCHONAU, R. P.; BODEN, D. I. Preliminary biomass studies in young *Eucalyptus*. **South African Forestry Journal**, v.120, n. 1, p. 24-28, 1982.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.

SEREGHETTI, G. C. **Biomassa inicial do híbrido *Eucalyptus urophylla* VS. *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos**. 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

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

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p.178-183.

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. 51 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, H. D. et al. L. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativas de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthami*, **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.49, p.83-95. 2004.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74 p.

SIMS, R. H.; VENTURI, P. All year-round harvesting of short rotation coppice *Eucalyptus* compared with the delivered costs of biomass from more conventional short season, harvesting systems. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 26, n. 1, p. 27–37, 2004.

SMITH, D.M. **The practice of silviculture**. New York: John Wiley & Sons, 1962. 578 p.

SMITH, E. B. **Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), destinado à produção de carvão vegetal**. 1989. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

SOARES, C. P. B. et al. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p.179-189, 1996.

SOUZA, A. P.; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, 1979.

SOCHACKI, S. et al. Evaluating a sustainability index for nutrients in a short rotation energy cropping system. **Global Change Biology Bioenergy**, Malden, v. 5, n. 3, p. 315–326, 2013.

SOCHACKI, S.; HARPER, R. J.; SMETTEM, K. R. J. Estimation of woody biomass production from a short rotation bio-energy system in semi-arid Australia. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 31, n. 9, p. 608–616, 2007.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo “leque” no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

STAPE, J. L. **Production Ecology of Clonal Eucalyptus Plantations in Northeastern Brazil**. 2002. 225 f. Tese (Doutorado em Forest Science) - Colorado State University, USA, 2002.

STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M. Meeting of the silvicultural and management cooperative program. In: REUNIÃO TÉCNICA DO PROGRAMA TEMÁTICO EM SILVICULTURA E MANEJO PTSM, 18., 2002, Entre-Rios. **Reunião Técnica...** Piracicaba: IPEF, 2002. 25 p.

STAPE, J. L. Espaçamento de plantio e dominância entre árvores. In: REUNIÃO TÉCNICA DO PROGRAMA TEMÁTICO EM SILVICULTURA E MANEJO PTSM, 22., 2004, Telêmaco Borba. **Reunião Técnica...**, Piracicaba: IPEF, 2004. p. 16-22.

STAPE, J. L. et al. Impacts of water, nutrient and dominance manipulations on the productivity of a clonal Eucalyptus plantation in a sandy oxisol in Brazil. In: BORALHO, N. et al. **Eucalyptus in a changing world**. Aveiro: IUFRO, 2004. p. 25-27.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 3, p. 63-72, 1986.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSCHIEDER, E. F. et al. Influence of growth dominance and individual tree growth efficiency on *Pinus taeda* stand growth. A contribution to the debate about why stands productivity declines. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, n. 1, p. 116-123, 2012.

VITAL, B. R. Método de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa, n. 1, p. 1-21, 1984.

VITAL, B. R. et al. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. **Brasil Florestal Boletim Técnico**, Brasília, n. 8, p. 49-52, 1984.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção, peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 421-427, 2002.

YAMADA, M. et al. Biomass and potential nutrient removal by harvesting in short-rotation plantations. In: NAMBIAR E. K. S.; RANGER, J.; TIARKS, A.; TOMA, T., SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS. **Proceedings of workshops in Congo July 2001 and China February 2003**, Bogor, Indonésia: CIFOR, 2004. p. 213–226.

ZEWDIE, M., OLSSON, M., VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globules* Labill. Coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. **Biomass Bioenergy**, United Kingdom, v. 33, n. 3, p. 421-428, 2009.