

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE
Eucalyptus spp. SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS VISANDO A
PRODUÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA

AILTON JESUS DINARDI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de
Botucatu, para obtenção de título de Doutor
em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Janeiro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE
Eucalyptus spp. SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS VISANDO A
PRODUÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA

AILTON JESUS DINARDI

Orientador: Prof^a Dr^a Magali Ribeiro da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Danilo Simões

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de
Botucatu, para obtenção de título de Doutor
em Ciência Florestal.

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)

D583v Dinardi, Ailton Jesus, 1966-
Viabilidade técnica e econômica de povoamentos de
Eucalyptus spp. sob diferentes espaçamentos visando a
produção de biomassa para energia / Ailton Jesus Dinardi.
- Botucatu :[s.n.], 2014
x , 91 f. : il. color, grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Facul-
dade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Magali Ribeiro da Silva
Coorientador: Danilo Simões
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Espaçamento. 2. Viabilidade econômica.
3. Silvicultura. I. Silva, Magali Ribeiro da. II. Simões,
Danilo. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mes-
quita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências
Agrônômicas. IV. Título.

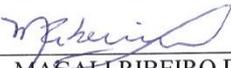
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE
Eucalyptus spp. SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS VISANDO
PRODUÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA."

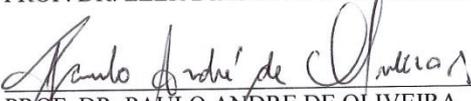
ALUNO: AILTON JESUS DINARDI

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MAGALI RIBEIRO DA SILVA
COORDENADOR: PROF. DR. DANILO SIMÕES

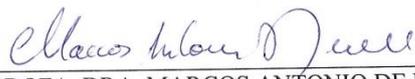
Aprovado pela Comissão Examinadora


PROFA. DRA. MAGALI RIBEIRO DA SILVA


PROF. DR. EZER DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR


PROF. DR. PAULO ANDRE DE OLIVEIRA


PROF. DR. EDGAR FERNANDO DE LUCA


PROFA. DRA. MARCOS ANTONIO DE REZENDE

Data da Realização: 30 de janeiro de 2014.

A Nossa Senhora, que tem me ensinado a esperar no Senhor ...

A minha Renata pela compreensão, companheirismo e ajuda incondicional ...

As meus filhos, Pedro Renato e Maria Clara pelo carinho e ensinamentos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força, sabedoria e discernimento em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais Pedro Dinardi (in Memória) e Fermina Batista pela simplicidade com que me educaram. Hoje que sou pai, consigo entender melhor seus ensinamentos.

À minha esposa Renata que sempre me incentivou e soube entender meus momentos de angústia, solidão e silêncio.

A minha orientadora Prof.^a Dr^a Magali Ribeiro da Silva pela oportunidade, pelos ensinamentos e pelo senso de responsabilidade e companheirismo.

Ao meu co-orientador Prof. Dr Danilo Simões pelas orientações e pela amizade.

Aos amigos que fiz durante esta caminhada, Mateus (Capixaba), Luiz Gustavo, Rodolfo e Fabinho.

Ao Guilherme Sereghetti pelas incontáveis vezes que veio em meu auxílio e colaborou com as análises estatísticas deste trabalho, o meu muito obrigado.

Ao professor Dr. Marcos Rezende e ao amigo Edson Bruder pela ajuda nas análises de densidade e poder calorífico.

A todos os alunos da FACOL (Faculdade Orígenes Lessa), especialmente ao Fabiano Moretto e ao Adriano pela ajuda.

Ao Gilmar Pires Moraes e ao José Claudio Giacometti (ANGICO'S - Comércio de Mudanças Florestais Ltda) que muito contribuíram com a implantação e a manutenção deste projeto.

Ao Programa de pós-graduação em Ciência Florestal da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP Botucatu, pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Doutorado.

SUMÁRIO

| | Páginas |
|---|----------------|
| LISTA DE TABELAS | V |
| LISTA DE FIGURAS | VII |
| RESUMO..... | 1 |
| SUMMARY | 2 |
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 2.1 Aspectos gerais do setor florestal no Brasil | 6 |
| 2.2 Espaçamentos de plantio de <i>Eucalyptus spp.</i> | 8 |
| 2.3 Biomassa e florestas energéticas | 11 |
| 2.4 Densidade Básica da Madeira | 13 |
| 2.5 Porcentagem de Casca | 15 |
| 2.6 Poder Calorífico da Madeira | 16 |
| 2.7 Análise econômica da implantação de florestas | 17 |
| 2.7.1 Valor Presente Líquido (VPL) | 18 |
| 2.7.2 Valor Esperado da Terra (VET) | 19 |
| 2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR) | 19 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.1 Localização da área experimental | 22 |
| 3.2 Materiais genéticos | 22 |
| 3.3 Espaçamento | 23 |
| 3.4 Delineamento Estatístico | 23 |
| 3.5 Solo | 24 |
| 3.6 Preparo de Solo e Plantio..... | 25 |
| 3.7 Replântio | 25 |
| 3.8 Adubação de Base..... | 25 |
| 3.9 Adubação de Cobertura..... | 26 |
| 3.10 Avaliações | 27 |
| 3.10.1 Desenvolvimento das plantas | 27 |
| 3.10.2 Produtividade | 27 |

| | |
|--|----|
| 3.10.3 Qualidade da Madeira | 29 |
| 3.10.4 Análise Econômica | 34 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 4.1 Desenvolvimento das plantas | 38 |
| 4.1.1 Desenvolvimento aos seis meses | 38 |
| 4.1.2 Desenvolvimento aos 12 meses | 39 |
| 4.1.3 Desenvolvimento aos 24 meses | 41 |
| 4.1.4 Desenvolvimento aos 36 meses | 43 |
| 4.2. Produtividade aos 36 meses | 47 |
| 4.2.1 Volume de Madeira com Casca | 47 |
| 4.2.2 Porcentagem de sobrevivência aos 36 meses | 49 |
| 4.3 Qualidade da madeira | 51 |
| 4.3.1 Densidade básica do lenho aos 36 meses | 51 |
| 4.3.2 Densidade básica da casca aos 36 meses | 52 |
| 4.3.3 Porcentagem de Casca | 53 |
| 4.3.4 Poder Calorífico Superior do Lenho | 53 |
| 4.3.5 Poder Calorífico Superior da Casca | 54 |
| 4.3.6 Incremento Médio Anual por ha em Energia | 55 |
| 4.5 Análise de viabilidade econômica dos tratamentos | 57 |
| 5. CONCLUSÕES | 62 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| APÊNDICES | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | Páginas |
|---|---------|
| Tabela 01: Informações sobre os materiais genéticos testados | 23 |
| Tabela 02: Caracterização dos tratamentos | 24 |
| Tabela 03: Precipitação acumulada na região de Bauru | 25 |
| Tabela 04: Adubação de base por planta em função do espaçamento | 26 |
| Tabela 05: Adubação de cobertura em função dos espaçamentos | 26 |
| Tabela 06: Planilha de aferição de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses. | 35 |
| Tabela 07: Altura (m) das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 12 meses após o plantio | 40 |
| Tabela 08: DAP (cm) das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> 12 meses após o plantio | 41 |
| Tabela 09: Altura (m) das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 24 meses após o plantio | 42 |
| Tabela 10: DAP das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 24 meses após o plantio | 43 |
| Tabela 11: Altura (m) das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 36 meses após o plantio | 44 |
| Tabela 12: DAP (cm) das plantas de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 36 meses após o plantio | 45 |
| Tabela 13: Volume de madeira com casca de <i>Eucalyptus spp.</i> ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) aos 36 meses | 49 |
| Tabela 14: Porcentagem média de sobrevivência aos 36 meses..... | 50 |
| Tabela 15: Densidade básica do lenho de <i>Eucalyptus spp.</i> (g cm^{-3}) aos 36 meses de idade | 52 |
| Tabela 16: Densidade básica da casca (g cm^{-3}) em plantas de <i>Eucalyptus spp</i> aos 36 meses de idade..... | 52 |
| Tabela 17: Percentual médio de casca da massa das árvores, densidades básicas sem casca (Db _{sc}) e com casca (Db _{cc}) e a sua variação percentual nos 20 tratamentos..... | 53 |
| Tabela 18: PCS do Lenho de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 36 meses de idade..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Tabela 19. PCS da Casca de <i>Eucalyptus spp.</i> aos 36 meses de idade. | 54 |
| Tabela 20: Influência do percentual de casca sobre o PCS Total | 55 |
| Tabela 21: Incremento Médio Anual com Casca base em Volume, em Massa e em Energia aos 36 meses. | 56 |
| Tabela 22: Custo de implantação e manutenção da floresta aos 36 meses..... | 57 |
| Tabela 23: Resultado da análise econômica dos tratamentos aos 36 meses..... | 58 |
| Tabela 24: Faturamento com a venda madeira em US\$..... | 59 |
| Tabela 25: Influência do custo da mudas sobre o custo total de implantação da floresta | 60 |

LISTA DE FIGURAS

| | Páginas |
|---|----------------|
| Figura 01: Identificação dos discos antes de serem embalados..... | 30 |
| Figura 02: Forma de retirada dos discos para análise de densidade básica..... | 30 |
| Figura 03: Determinação da massa do disco com casca e sem casca imerso em água (volume)..... | 31 |
| Figura 04: Calorímetro equipamento utilizado para determinação do poder calorífico. | 32 |
| Figura 05: Altura dos clones (m) aos seis meses após o plantio..... | 38 |
| Figura 06: Diâmetro do colo das plantas (mm) aos seis meses após o plantio..... | 39 |
| Figura 07: Altura média (m) das plantas em função dos clones aos 12, 24 e 36 meses. | 44 |
| Figura 08: Altura média (m) das plantas em função dos espaçamentos, aos 12, 24 e 36 meses..... | 45 |
| Figura 09: DAP médio (cm) das plantas em função dos clones aos 12, 24 e 36 meses. | 46 |
| Figura 10: DAP médio (cm) das plantas em função dos espaçamentos, aos 12, 24 e 36 meses | 47 |

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp. SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA. Botucatu. 2014. 91p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Autor: AILTON JESUS DINARDI

Orientadora: MAGALI RIBEIRO DA SILVA

Co-orientador: DANILO SIMÕES

RESUMO

Florestas energéticas são plantações com grande número de árvores por hectare, material genético selecionado, espaçamento reduzido e ciclo curto, ou seja, florestas com maior produção de biomassa por área em menor espaço de tempo. O objetivo principal deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica e econômica de povoamentos de *Eucalyptus* spp., com fins energéticos sob diferentes espaçamentos, até os 36 meses de idade, na região centro oeste do Estado de São Paulo. O experimento foi implantado em outubro de 2009, sendo um fatorial 5 x 4 (5 espaçamentos e 4 materiais genéticos). Os resultados demonstraram que os diferentes espaçamentos influenciaram no desenvolvimento em diâmetro, altura e na porcentagem de sobrevivência das plantas, proporcionando diferenças no volume de madeira produzido. Quanto à qualidade da madeira, a densidade básica foi influenciada pelos materiais genéticos (clones); a porcentagem de casca não foi influenciada pelos clones e nem pelos espaçamentos e o poder calorífico superior apresentou variação em função dos diferentes materiais genéticos, tanto para o lenho, quanto para a casca. Em função do alto custo de implantação da floresta, ocasionado principalmente pelo preço da terra na região de Bauru e pelo custo das mudas de *Eucalyptus* spp., todos os tratamentos, mostraram-se inviáveis em primeira rotação pelos indicadores econômicos VPL, TIR e VET. Pode-se concluir que há diferenças significativas no desenvolvimento das florestas em função da interação entre materiais genéticos e espaçamentos, e mesmo produzindo maior volume de madeira por área, os tratamentos mais adensados são os menos viáveis economicamente.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; silvicultura; adensamento; volume; custo.

TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF *Eucalyptus* spp. STANDS UNDER DIFFERENT SPACING IN CENTRAL WEST, STATE OF SÃO PAULO. Botucatu. 2014. 91p. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Paulista State University “Julio de Mesquita Filho”.

Author: AILTON JESUS DINARDI

Adviser: MAGALI RIBEIRO DA SILVA

Co-adviser: DANILO SIMÕES

SUMMARY

Energy forests are plantations with large number of trees per hectare, selected genetic material, reduced spacing and short cycle, forests with greater biomass production per area in the shortest time. The main objective of this study was to analyze the technical and economic viability of *Eucalyptus* spp. stands. under different spacing, up to thirty-six months of age, in the central west of the State of São Paulo. The experiment was established in October, 2009, being a 5x4 factorial, with a total of 20 treatments in 4 replications. The results showed that the different spacing influenced the development in diameter, height and percentage of plant survival, providing differences in the size of the produced wood, as the quality of the wood, the Basic density was influenced by the genetic materials (clones), the peel percentage was not influenced by the clones and the spacing, but the Higher Calorific Value showed variations, according to the different genetic materials, for the wood and for the bark. Due to the high cost of the forest implementation, caused mainly by the price of land in the region of Bauru and the cost of *Eucalyptus* spp. seedlings in denser treatments, all treatments tested were shown to be unviable by economic indicators NPV, IRR and VET. It can be concluded that there are significant differences in the genetic materials development according to the spacing and even producing a greater amount of wood per area, the denser treatments are the most economically unviable.

Keywords: *Eucalyptus*; forestry; densification; volume; cost.

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial proporcionou ao ser humano um aumento na quantidade de bens e serviços através das mudanças no processo de produção, passando do modelo artesanal para um modelo industrial, porém o ciclo vicioso da produção-consumo exigiu a ampliação da oferta energética como elemento indutor do processo de desenvolvimento econômico.

Dentre os itens que compõem a “matriz energética”, o carvão mineral e os derivados de petróleo assumiram, em nível mundial, a liderança como principais matérias-primas geradoras de energia, o que tem se refletido nos problemas de ordem ambiental sentidos na atualidade.

No Brasil, em 2011, a biomassa foi à segunda fonte de energia, com participação de 27,2% na matriz energética, perdendo apenas para o petróleo e seus derivados. Ela ocupou a mesma posição entre as fontes de energia elétrica de origem interna, ao responder por 7% da oferta, sendo superada pela hidroeletricidade, que foi responsável pela produção de 82% da oferta total, segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2012 (BRASIL, 2012). Além do bagaço da cana-de-açúcar, o licor negro e os resíduos florestais são as principais biomassas utilizadas para a geração de energia elétrica no Brasil (ABRAF, 2013).

A produção de energia elétrica a partir da biomassa se dá essencialmente pelo aproveitamento de resíduos (de cultivo ou de processos industriais). Apesar de ser uma fonte alternativa de energia e uma solução para problemas ambientais, devido à destinação dos resíduos, este modelo apresenta algumas limitações, como

heterogeneidade do material, baixa densidade energética espacial, redução da fertilidade do solo e as questões relacionadas à demanda x oferta.

Neste contexto, segundo Müller (2005), a silvicultura visando à produção de biomassa, especificamente para a geração de energia elétrica, ganha destaque, uma vez que apresenta o potencial para solucionar os problemas descritos, visto que: há homogeneidade do material, aumento da densidade energética espacial, diminuição da retirada de nutrientes do solo e resolução das questões de sazonalidade, em função do planejamento de produção.

No Brasil, no final do século XX, surgiu o conceito de “Florestas energéticas”; plantações com grande número de árvores por hectare, espaçamento reduzido e ciclo curto, ou seja, florestas com maior produção de biomassa por área em menor espaço de tempo (MAGALHÃES, 1982 apud MÜLLER, 2005). No entanto essas experiências não apresentaram, inicialmente, os resultados esperados, em função do pouco conhecimento técnico e da qualidade e heterogeneidade do material genético.

Porém na atualidade, pode-se vislumbrar outro cenário para o uso da biomassa florestal como matéria-prima para a geração de energia, principalmente em função dos avanços que o melhoramento florestal e a clonagem proporcionaram a silvicultura brasileira.

Em meio a esses avanços, a silvicultura brasileira poderá em curto espaço de tempo oferecer mais um produto para o mercado consumidor, visto que as empresas estão à procura por soluções para seus problemas de geração de energia a baixo custo e sem a dependência do setor energético nacional. Atualmente há uma forte demanda energética, em função do aquecimento da economia e certa retração da oferta de energia pelo setor público. Essa demanda reprimida pela morosidade do setor público tem possibilitado a muitas empresas a criação de uma nova fonte de renda com a venda de eletricidade para o sistema.

Segundo Krug (2008) Plantios florestais e culturas agrícolas para a produção de bioenergia renovável ocupam um espaço cada vez mais relevante nas discussões nacionais e internacionais, em razão de seu importante papel na mitigação da mudança do clima, porém há indagações crescentes sobre as implicações da produção de bioenergia na segurança alimentar e na sustentabilidade ambiental, as quais poderiam ser comprometidas com a expansão das plantações e cultivos energéticos. Adicionalmente, cita-se a preocupação com o consumo de água pela agricultura.

Particularmente no Estado de São Paulo outro fator merece destaque. O governo paulista através da Lei Estadual nº 11.241 de 19 de setembro de 2002, fez um pacto com o setor canavieiro e entre outras medidas, a partir do ano de 2014, não poderá se queimar mais a palha da cana-de-açúcar no Estado. Essa proibição, apesar de todo o caráter ambiental, coloca em risco a permanência do pequeno produtor rural no setor canavieiro. Com isso as florestas energéticas de ciclo curto poderão ser uma nova opção de renda a esses produtores.

As principais questões relacionadas à implantação de florestas energéticas, adensadas e de ciclo curto, diz respeito a sua viabilidade econômica e ambiental. Neste contexto, têm-se a hipótese de que a implantação de reflorestamentos comerciais com espécies do gênero *Eucalyptus* pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável em rotações de curta duração.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de espaçamentos de plantio sobre o desenvolvimento de quatro materiais genéticos de *Eucalyptus spp*, com vistas à economicidade de reflorestamentos comerciais, com a colheita da madeira aos 36 meses de idade, destinados à produção de biomassa para energia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do setor florestal no Brasil

Segundo a REMADE (2011) o total de florestas em todo o mundo cobre uma área de pouco mais de quatro bilhões de hectares, numa média de 0,6 hectares per capita. Os cinco países com maior área de florestas são, em ordem, a Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China que, juntos, contam com mais de 50% da área de florestas em todo o mundo.

Da área total do território nacional, em 2011, estima-se que 59,9% são cobertos por florestas naturais, 0,8% por florestas plantadas e o restante por outros usos como agricultura, pecuária, áreas urbanas e infraestrutura (ABRAF, 2013). Em termos de participação global, de acordo com os dados da FAO/ONU (2002), o Brasil possui, respectivamente, 57% da área florestal sul-americana e 12% da área total mundial.

A maior concentração em termos de área plantada com eucalipto está situada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Bahia. Quanto ao pinus, os Estados que mais se destacam em relação às áreas plantadas são o Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo. Em 2012, a área brasileira de plantios de *Eucalyptus e Pinus* atingiu 6,66 milhões de hectares, um crescimento de 2,2% em relação ao indicador de 2011. Os plantios de *Eucalyptus* representaram 76,6% da área total e os plantios de *Pinus*, 23,4%. Em 2012, a área de plantios de *Eucalyptus* totalizou 5.102.030 ha, representando crescimento de 4,5% (228.078 ha) frente ao indicador de 2011. O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de Papel e Celulose. A área de plantios de

Pinus totalizou 1.562.782 ha em 2012, valor 5,1% inferior ao registrado em 2011. Esse resultado corrobora a tendência de redução da área plantada de Pinus em prol da substituição por plantios de *Eucalyptus*. Analisando o período 2006-2012, a redução da área ocupada por Pinus foi de 79.110 ha (3,1% a.a.). Quanto ao crescimento da área plantada, os estados que apresentaram o maior crescimento foram o Mato Grosso do Sul (18,4%) e o Tocantins (39,6%). Bahia, Paraná e Goiás apresentam os maiores índices de redução, respectivamente, 2,0%, 3,6% e 29,1% (ABRAF, 2013).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é oriundo da Austrália, existindo ainda na Nova Guiné, na Indonésia e nas Filipinas. (SCOLFORO, 2008; ANDRADE, 1961, apud SANTOS, 2011).

No Estado de São Paulo, o objetivo da introdução inicial do *Eucalyptus* foi o abastecimento da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, que consumia, a cada ano, um milhão de dormentes e 600.000 m³ de lenha para alimentar as fornalhas das locomotivas (GARLIPP, 2007; QUEIROZ; BARRICHELO, 2008). No Brasil, até 1966, existiam em média de 600.000 a 700.000 ha de plantações de *Eucalyptus*, predominantemente nas regiões sudeste e sul do país com as espécies *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus alba* (FERREIRA, 1992).

A exploração do *Eucalyptus* em território brasileiro teve sucesso a partir de três grandes saltos importantes. O primeiro salto trata-se da escolha assertiva dessa essência como solução para a silvicultura nacional, mérito de Navarro de Andrade e de indústrias pioneiras do setor florestal brasileiro na década de 50. O segundo salto ocorreu com a técnica de clonagem do *Eucalyptus*, que consolidou os trabalhos de melhoramento genético, levando a um incrível aumento da produtividade atual das florestas. O terceiro salto trata-se da expansão do melhoramento genético utilizando a biotecnologia (QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

Segundo Rossi (2007), com o avanço da engenharia genética e das técnicas de melhoramento, híbridos do gênero *Eucalyptus* tiveram algumas de suas características potencializadas em relação às espécies parentais.

A hibridação possibilita combinar, num único indivíduo ou grupo de indivíduos, características florestais distintas que sejam de interesse, desde que se utilizem espécies que sejam complementares (SILVA; RECH, 2001).

No Brasil, a combinação entre o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, representou um grande salto para a silvicultura nacional por atender às

principais características de interesse das indústrias florestais, como bom crescimento, característica do *Eucalyptus grandis*, e resistência ao déficit hídrico e um leve aumento na densidade da madeira, características do *Eucalyptus urophylla* (REMADE, 2003).

2.2 Espaçamentos de plantio de *Eucalyptus* spp.

Segundo Stape (1995) uma escolha correta de densidade de árvores por unidade de área, tanto no plantio como ao longo do ciclo da floresta, se torna um dos principais aspectos envolvidos no manejo florestal, pois influenciará o crescimento individual e o conjunto das plantas.

O espaçamento é objetivo de estudo desde o início das pesquisas florestais. No Brasil, Balloni e Simões (1980) afirmam que a escolha do espaçamento de plantio em grande parte dos planejamentos florestais era fundamentada simplesmente no uso final da madeira, deixando de lado aspectos ecológicos ou silviculturais de suma importância, como a competição por luz, umidade e nutrientes.

Esta densidade de plantas por hectare, determinada pelas distâncias entre linhas e entre plantas, continua sendo muito estudada devido à constante introdução de novas espécies, procedências e clones, e também à expansão de novos projetos florestais em diferentes localidades (STAPE, 1995).

Oliveira Neto et al. (2003) afirmam que o espaçamento a ser adotado no plantio deve ser selecionado em função do produto florestal desejado, uma vez que, em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea por árvore, em especial do fuste, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto que em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos.

O espaçamento é de grande importância para o desenvolvimento das árvores sob os aspectos tecnológicos, silviculturais e econômico. Pode influenciar várias características quantitativas e qualitativas interferindo significativamente na morfologia das árvores e no seu crescimento, em particular no diâmetro, independente das suas características genéticas (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

O espaçamento praticado no plantio é importante porque afeta a formação das florestas, seus tratos culturais, a qualidade da madeira, sua extração e, por consequência, os custos de produção. Do ponto de vista energético, as pesquisas precisam

ser direcionadas no sentido de caracterizar qual a melhor forma de implantar a floresta, com adubação e espaçamentos adequados, sem prejudicar as propriedades relacionadas a esse fim, como é o caso do poder calorífico da madeira (GARCIA, 2010).

Os plantios realizados em espaçamentos reduzidos se destacam pela alta produção volumétrica por hectare em menor tempo, mesmo com um volume individual menor em função dos menores diâmetros. O maior adensamento de árvores por hectare permite também que os plantios de reposição sejam desnecessários, devido ao número elevado de plantas; rápidos rendimentos financeiros provenientes de desbastes, galhos menores e uma menor conicidade de fuste e rápido fechamento do dossel, reduzindo o surgimento de plantas invasoras (BERGER, 2000).

Segundo Müller (2005), na década de 1980, surgiu o neologismo “florestas energéticas”, utilizado para definir as plantações com grande número de árvores por hectare, conseqüentemente, com ciclo curto, que tinha como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo. 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.

Na teoria, a competição por luz entre plantas é muito mais intensa nos menores espaçamentos, devido à necessidade da árvore ampliar ao máximo a superfície foliar e suprir sua necessidade de assimilação, o que estimula o crescimento em altura (SILVA, 1990). Porém, Balloni e Simões (1980) observaram uma diminuição da altura média com o uso de espaçamentos inferiores, e comentam haver muitas controvérsias em relação à influência do espaçamento sobre o crescimento em altura das árvores.

Com relação à influência do espaçamento sobre a variável altura, Ladeira (1999) detectou que a competição entre árvores não influenciou o crescimento em altura. Já Moraes (2006) encontrou aos 12 meses de idade, nos menores espaçamentos, valores de altura menores, e maior valor de volume por hectare.

Para um mesmo espaçamento, é possível a utilização de diferentes arranjos de plantio (distâncias entrelinhas e entre plantas), denominando retangularidade à relação entre a maior e a menor destas distâncias de cada arranjo (STAPE, 1995).

Com relação à influência do espaçamento sobre a área basal e o volume, Müller (2005) trabalhando com um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantado em espaçamentos adensados, obteve valores decrescentes da área basal com o aumento do espaçamento entre as plantas e relação direta do volume e biomassa seca, com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades de plantio foram observados os maiores volumes de madeira e biomassa seca.

Garcia (2010) justifica a maior área basal em povoamentos adensados devido este parâmetro dendrométrico refletir a área ocupada pelo tronco da árvore em um determinado local. Em seu trabalho encontrou $7,74 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ no espaçamento de $2,8 \times 0,5 \text{ m}$, e $2,84 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ no espaçamento próximo ao comercial de $2,8 \times 2,0 \text{ m}$. Schneider et al. (2000) também constataram que a área basal é afetada pela densidade populacional.

Silva (2005) conduzindo um experimento de *Eucalyptus spp.*, observou interação significativa entre clone e arranjo de plantio para as variáveis área basal, volume e percentagem de quebra. Não houve diferença significativa para sobrevivência entre os espaçamentos e arranjos estudados (espaçamentos de 6; 10,5 e 15 m^2 por planta e arranjos de 3, 6 e 9 m estabelecidos para as entrelinhas), todos apresentaram, aos 6 anos de idade, valores maiores que 91%.

Garcia et al. (1991) avaliaram povoamento de *E. grandis*, aos 10 anos de idade, encontrando maiores volumes por hectare em plantações mais adensadas ($3,0 \times 1,0 \text{ m}$ e $3,0 \times 1,5 \text{ m}$). Esta tendência do efeito do espaçamento também foi verificada por Berger et al. (2002) em povoamento de *Eucalyptus saligna*, realizando medições do terceiro até o décimo ano após o plantio.

Leles et al. (2001) concluíram que ocorre um contínuo decréscimo da produção de madeira de espécies de eucalipto com o aumento do espaçamento. Ainda em plantios de *Acacia sp.*, Schneider et al. (2000) concluíram que menores espaçamentos propiciam maior produção de madeira e de casca, todavia com menor diâmetro médio.

Garcia (2010) constatou que os menores espaçamentos produzem mais volume de madeira com casca, no entanto, é necessário ponderar esta produção com adequações no ciclo de corte; especialmente nos tratamentos que contemplaram menores distâncias entre plantas ($2,8 \times 0,5 \text{ m}$; $2,8 \times 1,0 \text{ m}$ e $2,8 \times 1,5 \text{ m}$).

2.3 Biomassa e florestas energéticas

Biomassa é um termo que se refere à matéria vegetal resultante da fotossíntese e os seus derivados, como: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos oriundos de atividades humanas (SILVA et al., 2008).

A quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas; o que significa cerca de 400 toneladas *per capita*. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (RAMAGE; SCURLOCK, 1996).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. (CLEMENTE, 2003).

Segundo a ANEEL (2008) atualmente a biomassa é uma alternativa energética de vanguarda, tendo sido pouco expressiva na matriz energética mundial e ao contrário do que ocorre com outras fontes, como carvão, energia hidráulica ou petróleo, não tem sido contabilizada com precisão. As estimativas mais aceitas indicam que representa cerca de 13% do consumo mundial de energia primária.

A biomassa florestal é um mercado em crescimento no Brasil e no mundo, sendo uma fonte de energia renovável em potencial, devendo aumentar sua demanda por madeira originária de florestas plantadas, tendo o gênero *Eucalyptus* como destaque (SEREGHETTI, 2012). Uma característica importante desse recurso é a variedade de “formas” encontradas com potencial para aproveitamento energético, quais sejam: resíduos culturais agrícolas e florestais (provenientes das atividades de cultivo – manutenção, tratos culturais e colheita), resíduos industriais (resultantes do processamento da matéria-prima usadas em serrarias, produção de cana-de-açúcar, produção de celulose e papel etc.), plantios energéticos (MACEDO, 2003; MÜLLER, 2005).

Dentro desse contexto, o uso da biomassa como insumo para geração de energia elétrica reveste-se de notável importância na busca de alternativas energéticas, tendo em vista que se trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional (MÜLLER, 2005).

O aproveitamento de resíduos culturais (agrícolas e florestais) como fonte de insumos para geração de energia elétrica implica a remoção de uma importante fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo, o que não é interessante do ponto de vista econômico ou ambiental (MÜLLER, 2005). O cultivo de espécies florestais (florestas ou plantações energéticas) com finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à geração de eletricidade cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, 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 (MÜLLER e COUTO, 2006).

Um fator importante do ponto de vista ambiental, que deve ser avaliado em florestas energéticas de ciclo curto e com espaçamentos reduzidos, diz respeito à exaustão dos solos, em função da retirada excessiva de nutrientes. Análises químicas (macro e micronutrientes) devem compor as avaliações para que se estabeleçam mecanismos de reposição nutricional nas áreas de florestas energéticas.

De modo geral, o fuste (lenho + casca) representa cerca de 70-80 % da biomassa acima do solo e a copa, por sua vez, é responsável por cerca de 24% do acúmulo de nutrientes contidos na biomassa total, com destaque para o N, P e K. Por outro lado, o Ca e o Mg apresentam as maiores concentrações (cerca de 60%) na casca. Com relação à alocação de cada nutriente nos diversos compartimentos das árvores, aos 24 meses de idade, Müller (2005) verificou que cerca de 50% do N está alocado na copa, 35% na casca e 17% na madeira; o P, Ca e Mg apresentam maiores concentrações na casca (94, 91 e 97%, respectivamente); e o K apresenta uma distribuição maior entre a casca e a madeira (18% na copa, 42,5% na casca e 40% na madeira), o que significa que a exploração florestal nessa idade representa um grande impacto na fertilidade do solo, pela remoção de nutrientes, particularmente o P, Ca e Mg.

Além do aspecto da quantidade de nutrientes no solo, o retorno da biomassa da copa e da casca ao sítio florestal representa um importante fator de melhoria nas qualidades físicas e químicas do solo, pelo estímulo à atividade biológica, à formação de agregados, ao aumento da capacidade de troca catiônica, ao aumento da porosidade, à maior retenção de umidade, além de servir como proteção física do solo contra o efeito da chuva e do tráfego de máquinas pesadas (MÜLLER, 2005).

Neste contexto, é fundamental que haja uma regulamentação das florestas energéticas levando em conta pelo menos dois aspectos cruciais para o seu

sucesso e para a diminuição de seus possíveis impactos ambientais: zoneamento ecológico e plano de manejo. Pois segundo resultados já consolidados de inúmeros estudos feitos em vários países, inclusive no Brasil, mostram que esse tipo de manejo tem um impacto significativo no capital de nutrientes do solo e sobre a disponibilidade hídrica.

Sobre o plantio em larga escala de florestas adensadas, Foekel (2012) observa que um manejo de baixa qualidade ambiental seria um desastre para a eucaliptocultura brasileira, pois seus reflexos podem se propagar por todas as cadeias produtivas que se valem da madeira das florestas plantadas desse gênero de árvores. O carbono fóssil não deve ser trocado por usos inadequados de solo, biodiversidade e água.

Atualmente, com a otimização das florestas plantadas e a necessidade de maior fornecimento de energia para suprir o crescente consumo das novas indústrias, o uso da biomassa florestal torna-se uma alternativa viável do ponto de vista econômico e ambiental (FERREIRA et al., 2007). Entretanto, segundo Müller (2005), devido à sua heterogeneidade (granulometria, densidade, teor de umidade, poder calorífico), algumas limitações são impostas ao seu aproveitamento energético.

Segundo Lima et al. (2008) a utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, entre outros, no potencial para produção de biomassa do indivíduo (característica intrínseca da árvore, clone, espécie ou gênero) e, em relação à madeira propriamente dita, no conhecimento do seu poder calorífico, densidade básica da madeira e porcentagem de casca.

2.4 Densidade Básica da Madeira

Para Shimoyama e Barrichelo (1989) os programas de melhoramento florestal enfatizam, em primeiro plano, as características de crescimento, forma, adaptabilidade e resistência a pragas e doenças, devido à facilidade de seleção precoce para tais características. Em adição aos aspectos silviculturais, a avaliação das características da madeira afigura-se relevante na escolha do material genético adequado para condições específicas de clima, solo e destinação da madeira e dentre essas características, a densidade básica tem merecido atenção especial em decorrência de sua íntima relação com alguns aspectos tecnológicos e econômicos importantes (STURION et al., 1987).

A densidade básica é uma 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 com a produção e a qualidade da madeira (COSTA et al., 2008).

Entre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica é a mais utilizada como parâmetro de seleção, pois é influenciada pela base genética, ambiental e é resultado da interação desses dois fatores (RUY, 1998; RUY et al. 2001 apud ALZATE et al. 2005). Em relação à variação longitudinal da densidade básica da madeira, Panshin e De Zeeuw (1980) apud Alzate et al. (2005), apresentam uma síntese dos padrões de variação longitudinal, como sendo: a) a densidade decresce uniformemente no sentido base-topo; b) a densidade decresce até o meio do tronco e a partir deste ponto cresce até o topo; c) a densidade decresce da base para o topo, embora desuniformemente.

Segundo Sette Jr et al. (2012) as características anatômicas e a densidade do lenho podem variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie e entre diferentes partes das árvores, tanto no sentido longitudinal quanto no radial e as variações da densidade se devem às diferenças na estrutura anatômica do lenho e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume em razão, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais.

Segundo Sturion et al. (1987) há espécies, como por exemplo, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus maculata* que produzem madeira de maior densidade e, portanto, são as mais adequadas para usos que requerem resistência mecânica das peças e para a produção de energia. Essas espécies, entretanto, são menos apropriadas para celulose, apresentando problemas de picagem, consumo de reagentes, teor de rejeitos e resistência ao dobramento. Nesse caso, segundo Foekel (1978) apud Sturion et al. (1987), as espécies com densidade compreendida entre 0,45 e 0,65 g cm⁻³ são as mais recomendadas.

Polli et al. (2006) observaram em populações clonais de *E. grandis*, que a densidade da madeira aumentou significativamente no sentido medula-casca e decresceu no sentido base-topo. Porém deve-se registrar que a metodologia adotada nesta

análise foi a adotada por Vale et al (2002) em que foram retirados três discos de 5 cm de espessura na base, a 1,3 m e no topo, diferindo da metodologia adotada neste trabalho.

Sette Jr et al. (2012) ao analisarem os efeitos da idade e da posição de amostragem na densidade básica do lenho das árvores de *E. grandis* observaram que a variação da densidade básica ponderada do lenho das árvores de eucalipto, aos 24 e 72 meses, indica aumento significativo do seu valor médio de $0,43 \text{ g cm}^{-3}$ para $0,46 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo os mesmos autores, com relação à variação da densidade básica do lenho nas diferentes posições longitudinais do tronco das árvores de eucalipto, houve efeito estatisticamente significativo das posições longitudinais, caracterizando-se pelo decréscimo da base até os 3 m ($0,42\text{-}0,49 \text{ g cm}^{-3}$ para $0,40\text{-}0,46 \text{ g cm}^{-3}$ aos 24 e 72 meses, respectivamente) e aumento até a extremidade do tronco. Os maiores valores de densidade básica do lenho nas regiões basal e apical devem-se, provavelmente, às exigências mecânicas de sustentação do tronco e da copa das árvores de eucalipto.

Em Alzate et al. (2005) os valores de densidade básica da madeira, no sentido longitudinal do tronco dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* mostraram um modelo de variação caracterizado pelo aumento da densidade da base até o topo. Esta tendência apresentada pelo híbrido de eucalipto difere da encontrada por Carvalho (2000) que relata para este híbrido aos 7 anos de idade uma variação da densidade no sentido longitudinal da árvore decrescente até o DAP e crescente a partir deste ponto. A densidade básica média da madeira obtida para o híbrido de eucalipto foi de $0,49 \text{ g cm}^{-3}$, com valores variando de $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,52 \text{ g cm}^{-3}$. Os mesmos autores compararam a densidade básica média da madeira dos clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* com a densidade básica de clones de *E. saligna* e *E. grandis*. Os resultados obtidos apontam que a densidade básica foi mais alta no híbrido e, em seguida, no *E. saligna* e *E. grandis*, com valores de $0,49$, $0,47$ e $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ respectivamente.

2.5 Porcentagem de Casca

Alzate (2004) ressalta a importância da mensuração da porcentagem de casca além do volume de madeira para quantificar a produtividade florestal, pois a mensuração do volume de casca pode contribuir com erros sistemáticos nos inventários florestais, superestimando a produtividade da madeira dos fustes.

Barrichelo e Brito (1977) constataram que a porcentagem de casca em árvores de *E. grandis* foi maior na base e no topo do tronco, diminuindo nas posições intermediárias, encontrando correlações positivas entre a porcentagem de casca e a densidade básica da madeira.

Alzate (2004) observou grande homogeneidade na porcentagem de casca em clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, tanto entre os clones quanto dentro dos clones, ou seja, os materiais testados apresentam maiores teores de casca na base e no topo, com valores variando de 8,4% a 19,9%.

Oliveira et. al (1999) observa que a casca das árvores de espécies de eucalipto revela, no seu aspecto externo, variações de forma e textura, sendo que nas seis espécies de eucalipto estudadas, o teor de casca é maior na base e topo e, menor, na parte média do fuste, exceto o *E. cloeziana*, com modelo de variação distinto.

Segundo Foekel (2005) a quantidade de casca nas árvores depende de inúmeros fatores, entre os quais o tipo de casca e o estágio de melhoramento genético do material em questão. As árvores clonais melhoradas geneticamente para alto incremento volumétrico mostram entre 9 a 12% de casca em volume, sendo que povoamentos comerciais de menor incremento apresentam entre 12 a 18% de casca no volume das árvores.

2.6 Poder Calorífico da Madeira

Por definição, poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de calor liberado pela queima, de modo que a água proveniente da queima esteja em estado líquido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). Segundo Ferreira et al. (2007), o poder calorífico refere-se à quantidade de energia liberada na forma de calor pela combustão de uma unidade de massa de madeira, sendo expresso em calorias por gramas (cal g^{-1}) ou quilocalorias/quilograma (kcal kg^{-1}). Divide-se em poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e líquido (PCL). No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou kilojoules por kilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou kilocalorias por quilograma, segundo Briane & Doat (1985) apud Quirino et al. (2005).

Segundo Quirino et al.(2005), o rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química, onde os teores de

celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada. Ainda segundo o mesmo autor, em uma tabela com o poder calorífico de 132 espécies florestais, na média, o poder calorífico das espécies florestais foi de $4.732 \text{ kcal kg}^{-1}$ sendo encontrado valor de 5.260 kcal no limite superior e $3.350 \text{ kcal kg}^{-1}$ no limite inferior. A média do Poder Calorífico Superior das espécies de *Eucalyptus spp.* pesquisadas foi de $4712,59 \text{ kcal kg}^{-1}$.

Couto e Müller (2008) relata que o Poder Calorífico Superior de espécies de eucalipto estão situadas entre 4.312 a $5.085 \text{ kcal kg}^{-1}$. Rogero et al. (2011) analisando o Poder Calorífico Superior da madeira de *Eucalyptus urograndis*, clone híbrido interespecífico, que concilia as características de crescimento rápido do *E. grandis* com as maiores densidade e variedade fenotípica do *E. urophylla*, concluíram que a madeira de *Eucalyptus urograndis* se mostra apta a ser usada para fins energéticos, considerando o seu poder calorífico com valores entre $4.652 \text{ kcal kg}^{-1}$ e $4.717 \text{ kcal kg}^{-1}$.

Vale et al. (2000) analisando a produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* em diferentes níveis de adubação concluíram que a influência indireta da adubação no poder calorífico decorrente da alteração dos teores de lignina e extrativos não foi comprovada uma vez que não houve diferença significativa entre os tratamentos, com valores médios para o *Eucalyptus grandis* de $4.641 \text{ kcal kg}^{-1}$.

2.7 Análise econômica da implantação de florestas

Com a crescente demanda por fontes renováveis de energia, estudos a respeito do potencial de geração de energia a partir da biomassa florestal têm sido realizados no Brasil e no mundo, relatando o potencial da biomassa, inclusive a madeira, para a geração de energia limpa (MOREIRA, 2011). Segundo o mesmo autor, além de aumentar a eficiência de conversão de madeira em energia, é de fundamental importância levar em consideração os custos de produção e a logística do aproveitamento da biomassa florestal para avaliar o seu verdadeiro potencial para a geração de calor e cogeração de energia.

Sendo assim, a aplicação dos critérios de análise econômica na área florestal é fundamental para decidir qual o melhor projeto e, ou, alternativa de manejo a serem adotados (SILVA e FONTES, 2005). Assim, a determinação da idade econômica de corte, o espaçamento, a adubação, a época e a intensidade de tratamentos silviculturais, e a

espécie, dentre outras decisões, podem ser tomadas de forma mais segura quando feitas as simulações baseadas nos critérios técnico-econômicos (LOPES, 1990 apud SILVA E FONTES, 2005).

Muitos trabalhos têm sido feitos sobre análise econômica de projetos florestais. Segundo Silva e Fontes (2005) diversos métodos são aplicáveis com a finalidade de avaliar economicamente um projeto florestal. Essa avaliação baseia-se em seu fluxo de caixa, que consiste nos custos e nas receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento, sob o efeito de uma taxa de juros fixa e positiva. Entre os métodos utilizados, podem ser destacados os métodos de Valor Presente Líquido (VPL), o Valor Esperado da Terra (VET) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.7.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença entre o valor descontado do fluxo de caixa para a data do investimento inicial e o valor de um investimento inicial de um projeto e todos os projetos que apresentarem VPL maior igual a zero podem ser aceitos, pois geram retorno igual ou maior que o custo de capital, ou seja, um projeto que apresenta o VPL menor que zero, seu retorno é inferior a seu custo de capital e ele deixa de ser viável economicamente (MEGLIORINI e VALLIM, 2009).

Segundo Souza e Clemente (1999), o método do VPL é a técnica de análise de investimento mais conhecida e utilizada, e como o próprio nome diz, nada mais é do que a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero. Para tal, usa-se como taxa de desconto a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) da empresa.

De acordo com Faro (1979), o VPL de um projeto é a soma algébrica dos valores descontados, a determinada taxa de juros, do fluxo de caixa a ele associado. Segundo Silva (1992), esse método é um dos mais utilizados na avaliação de investimentos, por obter o valor da produção em termos atuais, considerando uma taxa de juros, e por ser isento de falhas técnicas. A maior dificuldade na sua aplicação está na escolha de uma taxa de desconto apropriada para cada caso, além de apresentar problemas quando se trata da ordenação de projetos de investimento que possuem horizontes de planejamento diferentes.

2.7.2 Valor Esperado da Terra (VET)

Segundo Silva e Fontes (2005), o método de Faustmann, comumente chamado de valor de expectativa da terra, ou Valor Esperado da Terra (VET) ou valor de expectativa do solo, ou valor esperado do solo (VES), tem sido frequentemente citado na literatura florestal.

O VET é um termo florestal usado para representar o valor presente líquido de uma área de terra nua a ser utilizada para a produção de madeira, calculado com base numa série infinita de rotações. Tal critério é mundialmente conhecido e utilizado para determinar a rotação econômica e o preço máximo de compra de terra nua, considerando-se uma série infinita, bem como para selecionar projetos alternativos (SILVA et al., 2002 apud SILVA E FONTES, 2005). O projeto será considerado economicamente viável se apresentar VET maior que o valor da terra.

O VET, por considerar o horizonte infinito, é amplamente utilizado na análise econômica de projetos florestais, pois elimina o problema de se compararem projetos com diferentes durações.

O VET pode ser utilizado para comparar alternativas de investimentos, porém se deve ressaltar que, para um projeto ser viável por esse critério, o seu valor deve ser maior que o de mercado da terra e não maior que zero. Caso o VET seja menor que o valor da terra, o empreendimento é economicamente inviável (SILVA; FONTES, 2005).

2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Dentre os métodos de análise mais utilizados, a taxa interna de retorno (TIR) é a mais comum, porque a interpretação de seu valor é mais fácil e cômoda para os empresários. A TIR é o valor da taxa de desconto que torna o valor presente do fluxo líquido de caixa igual a zero (NORONHA, 1987). Este valor será único quando os investimentos forem puros; caso contrário, há a possibilidade de ocorrência de múltiplas TIR para um mesmo fluxo de caixa. A escolha de um projeto como economicamente viável ocorre se o valor da TIR for superior ao custo de oportunidade do capital.

A TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL, já citado, à zero. Também pode ser

entendida como uma taxa percentual do retorno do capital investido. A avaliação baseia-se na TIR do projeto. Se esta for maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) ou Taxa Alternativa de Mercado (TAM), significa que o projeto é viável. Assim, o projeto que fornecer a maior TIR será considerado o de maior benefício.

Assaf Neto (2009) apud Costa (2012) diz que para avaliação de propostas de investimento o cálculo da TIR, requer basicamente o conhecimento dos montantes de dispêndio de capital e dos fluxos de caixa líquidos incrementais gerados pela decisão, considerando que esses valores ocorrem em diferentes momentos, pode-se dizer que a TIR ao levar em conta o valor do dinheiro no tempo representa a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros composto equivalente periódica.

Conforme Noronha (1987), a TIR apresenta duas principais vantagens. A primeira é que ela é calculada internamente a partir do fluxo de caixa do projeto, não sendo necessário supor, a priori, a taxa que mede o custo de oportunidade do capital. A segunda é que ela pode ser comparada diretamente com o custo do capital ou com as alternativas de aplicação no mercado financeiro.

A TIR é definida como a taxa de desconto que faz com que o valor atualizado dos benefícios seja igual ao valor atualizado dos custos, sendo um método que depende exclusivamente do fluxo de caixa do sistema de produção. Constitui uma medida relativa que reflete o aumento no valor do investimento ao longo do tempo, tendo em vista os recursos demandados para produzir o fluxo de receitas (REZENDE; OLIVEIRA, 1995).

Malinovski et al. (2006) procederam a uma avaliação econômica da implantação de pequenos reflorestamentos nas áreas limítrofes em pequenas propriedades rurais no município de São José dos Pinhais (PR). Para análise econômica das culturas, utilizaram-se os critérios do Valor Presente Líquido (VPL), da Razão Benefício/Custo (RB/C) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados obtidos mostram que a cultura de eucalipto mostra um VPL baixo quando comparado a outras culturas, como erva-mate ou pinus, por exemplo e apesar de apresentar uma TIR acima da taxa mínima de atratividade e um RB/C acima de 1. Quando computado o custo da terra, a cultura do eucalipto mostrou-se economicamente inviável, com VPL negativo em todas as classes.

Com relação ao custo da terra, esta variável se computada na análise econômica do empreendimento agroflorestral, influencia na rentabilidade e no retorno financeiro em função da região em que se dará determinado projeto. O Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo (IEA), braço econômico da Agência Paulista

de Tecnologia dos Agronegócios – APTA da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, realiza ao longo dos anos o levantamento de preços de terras agrícolas. Esse levantamento é realizado, nos municípios do Estado São Paulo, em conjunto com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), sendo os valores de terra nua referente a diferentes categorias (terra de cultura de primeira, terra de cultura de segunda, terra de campo, terra para pastagem e terra para reflorestamento).

Nesse modelo de classificação, a terra para reflorestamento é definida como: imprópria para culturas perenes e pastagens, mas potencialmente apta para silvicultura e vida silvestre, cuja topografia pode variar de plana a bastante acidentada, podendo apresentar fertilidade muito baixa. O levantamento é realizado ao longo do ano e apresentado na forma de preço médio entre os menores e maiores valores aferidos. Se o custo da terra for computado na análise econômica do projeto, há necessidade de se definir a região onde o mesmo será implantado, pois este apresenta grande variação. Como exemplo, pode-se citar que a média do preço da terra no Estado de São Paulo, em novembro de 2012, variou de R\$ 19.628,10 ha⁻¹ na região de Mogi–Mirim para R\$ 2.116,29 ha⁻¹ na região de Tupã (SÃO PAULO, 2013).

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi implantado no município de Borebi, Estado de São Paulo, em uma área de 2,83 ha, localizado nas coordenadas geográficas: latitude S 22° 36" e longitude W 48° 49", e altitude média de 590 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o tipo de clima é o Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (Apêndice 1) (CEPAGRI, 2013). Na região, predomina o latossolo vermelho amarelo, fase arenosa, que propicia a ocorrência de vegetação de campos na maior parte da região (CARPANEZZI et al. 1975). A agricultura e a pecuária são as bases da economia, com destaque para a cultura de eucalipto.

3.2 Materiais genéticos

Os materiais genéticos testados foram doados pela Empresa Angicos Comércio de Mudas Florestais Ltda, e selecionados em função das características qualitativas dos materiais, como densidade da madeira, percentual de enraizamento e desenvolvimento no campo, como o Incremento Médio Anual com Casca (IMA). Os dados fornecidos pela empresa, sobre os clones, estão identificados na Tabela 1.

Tabela 1: Informações sobre os materiais genéticos testados

| Clones | IMA (vcc) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ | Densidade (base seca) kg m^{-3} | Material |
|--------|---|--|-------------------------------|
| I | 50 | 500 | <i>E. urograndis</i> |
| II | 37 | 503 | Híb. nat. <i>E. urophylla</i> |
| III | 51 | 515 | Híb. nat. <i>E. urophylla</i> |
| IV | 50 | 576 | <i>E. urograndis</i> |

3.3 Espaçamentos

Os espaçamentos utilizados foram definidos por meio da análise de outros experimentos similares, sempre em relação aos espaçamentos convencionais utilizados nas áreas de plantios comerciais. Os espaçamentos proporcionaram áreas por planta de: $1,5 \text{ m}^2$; $3,0 \text{ m}^2$ e $6,0 \text{ m}^2$, sendo testados em diferentes arranjos:

- $3,0 \text{ m}$ entre linhas e $2,0 \text{ m}$ entre plantas = $6,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$
- $3,0 \text{ m}$ entre linhas e $1,0 \text{ m}$ entre plantas = $3,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$
- $1,5 \text{ m}$ entre linhas e $2,0 \text{ m}$ entre plantas = $3,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$
- $3,0 \text{ m}$ entre linhas e $0,5 \text{ m}$ entre plantas = $1,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$
- $1,5 \text{ m}$ entre linhas e $1,0 \text{ m}$ entre plantas = $1,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$

3.4 Delineamento estatístico

O experimento é um fatorial 4×5 , sendo quatro clones e cinco espaçamentos, instalado em blocos ao acaso, em número de quatro. Cada parcela foi composta por 100 plantas (10×10) nos tratamentos onde o espaçamento entre linhas foi de 3 m e de 152 plantas (8×19) nos tratamentos onde o espaçamento entre linhas foi de $1,5 \text{ m}$. As parcelas úteis para avaliações foram compostas pelas 36 plantas centrais (6 linhas \times 6 plantas por linha). No total, 9664 plantas em uma área de $2,38 \text{ ha}$ ($236 \times 120 \text{ m}$) (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização dos tratamentos

| Tratamentos | Espaçamentos | Clones |
|--------------------|---------------------|---------------|
| 1 | 3,0 m x 2,0 m | I |
| 2 | 3,0 m x 1,0 m | I |
| 3 | 3,0 m x 0,5 m | I |
| 4 | 1,5 m x 1,0 m | I |
| 5 | 1,5 m x 2,0 m | I |
| 6 | 3,0 m x 2,0 m | II |
| 7 | 3,0 m x 1,0 m | II |
| 8 | 3,0 m x 0,5 m | II |
| 9 | 1,5 m x 1,0 m | II |
| 10 | 1,5 m x 2,0 m | II |
| 11 | 3,0 m x 2,0 m | III |
| 12 | 3,0 m x 1,0 m | III |
| 13 | 3,0 m x 0,5 m | III |
| 14 | 1,5 m x 1,0 m | III |
| 15 | 1,5 m x 2,0 m | III |
| 16 | 3,0 m x 2,0 m | IV |
| 17 | 3,0 m x 1,0 m | IV |
| 18 | 3,0 m x 0,5 m | IV |
| 19 | 1,5 m x 1,0 m | IV |
| 20 | 1,5 m x 2,0 m | IV |

3.5 Solo

As amostragens de solo ocorreram antes do preparo do solo e aos 36 meses após a implantação do experimento. As amostras foram retiradas com o uso de trado em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm). As amostras iniciais foram compostas de 30 subamostras por profundidade e os resultados foram utilizados para determinar o manejo de fertilização e as características físicas do solo.

Aos 36 meses foram retiradas, nas entre linhas de plantio, três subamostras por bloco/tratamento, perfazendo doze subamostras em cada tratamento e profundidade. Estas subamostras originaram uma amostra composta, a qual foi analisada quimicamente. Desta forma, tem-se uma análise química por tratamento em cada profundidade de solo.

Os resultados das análises químicas e físicas do solo, antes do plantio e aos 36 meses após o plantio encontram-se nos apêndices de 2 a 6.

3.6 Preparo do solo e plantio

Por se tratar de uma área usada anteriormente como pastagens, foi necessário aplicar Glyphosate ($3,5 \text{ L ha}^{-1}$) via pulverização mecanizada em área total. Para o controle da matocompetição, após o plantio, foram aplicados, quando necessário, o mesmo herbicida via pulverizador costal.

O preparo de solo baseou-se na abertura de sulcos com sulcador (haste de 40 cm) e aplicação de calcário dolomítico ($1,5 \text{ t ha}^{-1}$) em filete contínuo. O plantio ocorreu entre a segunda quinzena de outubro e a primeira quinzena de novembro de 2009, com o uso de plantadeira manual, sem uso de irrigação, aproveitando somente as fortes chuvas que ocorreram na região neste período (Tabela 3).

Tabela 3: Precipitação acumulada na região de Bauru

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 2013 | 272.5 | 134.6 | 185.7 | 105.4 | 144.3 | 66 | 39.9 | 0 | | | | |
| 2012 | 262.1 | 81.8 | 177 | 192.3 | 83.8 | 197.6 | 11.4 | 0 | 94.7 | 51.8 | 138.2 | 121.9 |
| 2011 | 496.1 | 173.7 | 144.5 | 89.2 | 31.5 | 45.7 | 7.9 | 40.4 | 3 | 209.3 | 135.9 | 207.5 |
| 2010 | 213.4 | 42.7 | 55.1 | 88.9 | 33 | 29.2 | 88.6 | 0 | 92.7 | 132.6 | 86.4 | 218.9 |
| 2009 | 253.7 | 149.1 | 117.1 | 8.1 | 45 | 51.6 | 67.8 | 91.4 | 121.2 | 130.1 | 229.9 | 319.5 |
| 2008 | 213.4 | 149.9 | 92.2 | 125.2 | 73.9 | 58.2 | 0 | 54.1 | 29.7 | 129.8 | 107.9 | 132.3 |
| 2007 | 327.2 | 177 | 42.4 | 55.9 | 45 | 3.3 | 239.5 | 0 | 3 | 51.3 | 219.7 | 182.6 |
| 2006 | 166.1 | 263.1 | 43.7 | 12.2 | 13.7 | 12.2 | 34.3 | 15.5 | 62.5 | 7.4 | 65.5 | 251 |
| 2005 | 363.2 | 89.4 | 119.6 | 21.3 | 70.4 | 47.2 | 7.1 | 16.5 | 39.4 | 10.7 | 63.8 | 190.2 |
| 2004 | 189 | 137.2 | 48.3 | 65.8 | 105.4 | 16 | 43.9 | 0 | 4.1 | 98.8 | 11.7 | 174.2 |
| 2003 | 366.3 | 138.2 | 84.3 | 158.8 | 34.8 | 47.2 | 12.4 | 29.7 | 14.5 | 82.3 | 138.2 | 202.9 |
| 2002 | 158.2 | 196.3 | 24.4 | 17.3 | 81 | 0 | 33.8 | 52.6 | | 14.7 | 122.7 | 169.9 |
| 2001 | 310.6 | 188.7 | 115.3 | 11.2 | 77.7 | 45.7 | 38.6 | 42.2 | 26.9 | 45.2 | 35.1 | 231.6 |

Fonte: IPMET, 2013.

3.7 Replantio

Aos 30 dias foi realizada uma avaliação de sobrevivência com contagem em área total. Nos casos em que houve mortalidade ou algum sintoma de queima devido à deriva do herbicida, realizou-se o replantio aos 42 dias após o plantio.

3.8 Adubação de base

Após o replantio, foi feita a adubação de base, em covetas laterais, a vinte centímetro das mudas, no sentido da linha, com a dosagem de 300 kg ha^{-1} de adubo

NPK 06:30:06 + 0,3% B e 0,3% Zn. Como a fertilização foi calculada com base na análise química do solo para cultura de *Eucalyptus spp.*, a quantidade foi estabelecida por unidade de área e as doses por planta variaram em função da densidade populacional, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Adubação de base por planta em função do espaçamento

| Espaçamentos | m ² /planta | Adubação (g)/planta | Nº dos Tratamentos | Plantas ha ⁻¹ |
|---------------|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| 3,0 m x 2,0 m | 6,0 | 180 | 1, 6, 11, 16 | 1667 |
| 3,0 m x 1,0 m | 3,0 | 90 | 2, 7, 12, 17 | 3333 |
| 1,5 m x 2,0 m | 3,0 | 90 | 5, 10, 15, 10 | 3333 |
| 3,0 m x 0,5 m | 1,5 | 45 | 3, 8, 13, 18 | 6667 |
| 1,5 m x 1,0 m | 1,5 | 45 | 4, 9, 14, 19 | 6667 |

3.9 Adubação de Cobertura

A adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, aos 3 e 6 meses após o plantio, com um total de 250 kg ha⁻¹ de NPK 19:00:19 por ha (Tabela 5). A adubação foi realizada na forma de coroa ao redor do caule da muda, na projeção da copa, sem incorporação com o solo.

Tabela 5: Adubação de cobertura em função dos espaçamentos

| Espaçamentos | m ² /planta | Adubação (g/planta) | Nº dos Tratamentos | Plantas ha ⁻¹ |
|---------------|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| 3,0 m x 2,0 m | 6,0 | 150 | 1, 6, 11, 16 | 1667 |
| 3,0 m x 1,0 m | 3,0 | 75 | 2, 7, 12, 17 | 3333 |
| 1,5 m x 2,0 m | 3,0 | 75 | 5, 10, 15, 20 | 3333 |
| 3,0 m x 0,5 m | 1,5 | 37,5 | 3, 8, 13, 18 | 6667 |
| 1,5 m x 1,0 m | 1,5 | 37,5 | 4, 9, 14, 19 | 6667 |

3.10 Avaliações

3.10.1 Desenvolvimento das plantas

As avaliações do desenvolvimento em altura e diâmetro das plantas foram realizadas por meio de medições aos 6, 12, 24 e 36 meses após a implantação do experimento. Aos 6 meses o diâmetro foi medido na base (colo) das plantas e aos 12, 24 e 36 meses à altura do peito (DAP). Para estas medições foram instaladas parcelas fixas com as 36 plantas centrais (6 linhas x 6 plantas por linha).

3.10.2 Produtividade

A produtividade do reflorestamento foi definida, aos 36 meses de idade do povoamento, em termos de volume com casca da madeira, rendimento em massa com casca e porcentagem de sobrevivência.

a) Volume de Madeira Individual (VMI)

Para avaliação aos 36 meses de idade do VMI, selecionaram-se duas árvores médias por bloco, para cada tratamento, totalizando oito árvores no total, por tratamento, nas quais foram medidos, após serem abatidas, os diâmetros, com casca e sem casca a 30 cm, a 1,30 m e após essa altura, a cada 2,5 m até atingir, aproximadamente, 40 mm de diâmetro, as alturas totais e os comprimentos das copas.

Com estes dados, realizou-se a cubagem rigorosa através do método de Smalian (1):

$$V = \left[\left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l + \left(\frac{g_2 + g_3}{2} \right) \cdot l + \left(\frac{g_3 + g_4}{2} \right) \cdot l + \left(\frac{g_4 + g_5}{2} \right) \cdot l \right] \quad (1)$$

Em que:

V= volume da árvore (m³);

g = área seccional do extremo da seção (m²);

L= comprimento da seção (m).

Com as mesmas árvores abatidas calculou-se o volume cilíndrico, equação (2) para posterior cálculo do fator de forma (3). Calculado o fator de forma de cada árvore, foi realizada uma média aritmética simples para obtenção do fator de forma de cada tratamento.

$$V_c = \left(\pi \cdot \frac{(DC^2)}{40000} \right) \cdot H \quad (2)$$

Em que:

V_c = volume cilíndrico;

DC = diâmetro de colo (cm);

H = altura (m).

$$f = \frac{V_r}{V_c} \quad (3)$$

Em que:

f = fator de forma;

V_r = volume real (m³);

V_c = volume cilíndrico (m³).

Depois de realizado o cálculo do fator de forma de cada tratamento, calculou-se o volume cilíndrico das demais árvores de cada tratamento, e multiplicou-se pelo fator de forma do tratamento (Equação 4).

$$V = \left(\pi \cdot \frac{(DC^2)}{40000} \right) \cdot H \cdot f \quad (4)$$

Em que:

V = volume da árvore (m³);

DC = diâmetro de colo (cm);

H = altura (m);

f = fator de forma.

O Incremento Médio Anual com casca com base em volume (IMAV_{cc}), em m³ ha⁻¹ ano⁻¹ foi calculado pela Equação 5, sendo V_{cc} o volume de madeira com casca (m³) do tratamento e Idade a idade do tratamento (anos).

$$IMAV_{cc} = \frac{V_{cc}}{Idade}$$

(5)

O Incremento Médio Anual com casca com base em massa (IMAM_{cc}), em ton ha⁻¹ ano⁻¹ foram calculados utilizando a Equação 6, sendo Dbcc a Densidade Básica da madeira com casca .

$$IMAM_{cc} = IMAV_{cc} \cdot Dbcc \quad (6)$$

b) Porcentagem de Sobrevivência

Como o potencial de sobrevivência esta relacionado à capacidade do material genético de se adaptar as condições edáficas e climáticas da região e como esta adaptação é influenciada pela relação destes materiais genéticos com os espaçamentos testados, aos 36 meses de idade, realizou-se o levantamento de sobrevivência dos tratamentos com contagem em área total.

3.10.3 Qualidade da Madeira

Para o cálculo da densidade básica da madeira, poder calorífico superior e porcentagem da casca foram usadas as mesmas árvores abatidas para calcular o volume (160 árvores), onde foram coletados os discos nas alturas de 12,5%, 37,5%, 62,5% e 87,5% da altura total, conforme Costa (2006), totalizando 640 amostras.

As amostras foram identificadas com três algarismos alfanuméricos, sendo o primeiro referente ao tratamento (variando de 1 a 20), o segundo, referente à árvore (variando de 1 a 36) e o último referente à posição do disco na árvore,

identificada da base para o topo (A, B, C, D) (Figura 1). Os discos foram tirados com uma espessura próxima a 4 cm (Figura 2).



Figura 1- Identificação dos discos antes de serem embalados.



Figura 2- Forma de retirada dos discos para análise de densidade básica.

Após a retirada dos discos, estes foram imediatamente embalados em sacos plásticos devidamente identificados. Posteriormente foram conduzidos ao Laboratório de Física Aplicada do Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista no Campus de Botucatu/SP.

Para a determinação da densidade básica das amostras, utilizou-se o método de imersão em água que consiste em saturar a amostra com água até seu volume verde ou saturado e depois determiná-lo através do empuxo (BARBOSA; BREITSCHAFT, 2006).

As amostras foram imersas separadamente em um recipiente com água, sobre uma balança tarada antes da imersão da amostra, obteve-se então a massa indicada na balança após a imersão tomando cuidado para evitar o contato das mesmas com o fundo ou as laterais do recipiente. Esse procedimento foi realizado com o disco com

casca e sem casca (Figura 4). Essa massa em gramas (g) é exatamente o volume da amostra em cm^3 , considerando a densidade da água $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ e a força de reação do empuxo da água sobre a amostra (BARBOSA; BREITSCHAFT, 2006).



Figura 3 - Determinação do volume do disco com casca e sem casca imerso em água (volume).

Após a determinação do volume, os discos sem casca e as cascas foram secas, até atingirem massa constante em uma estufa a $103 \pm 2^\circ \text{ C}$.

A partir da massa seca e do volume saturado, foi determinada a densidade básica da madeira sem casca e da casca utilizando a equação 7 e 8.

$$D_b = \frac{M_s}{V} \quad (7)$$

Em que:

D_b = densidade básica da amostra de madeira, g cm^{-3} ,

M_s = massa seca da amostra de madeira, g,

V = volume saturado da amostra de madeira, cm^3 .

$$D_{bc} = \frac{M_{sc}}{V_{sc}} \quad (8)$$

Em que:

D_{bc} = densidade básica da amostra da casca, g cm^{-3} ,

M_{sc} = massa seca da amostra da casca, g,

V_{sc} = volume saturado da amostra da casca, cm^3 .

A densidade básica de cada tratamento foi determinada pela média aritmética das densidades básicas das 8 árvores de cada tratamento.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado por meio de um instrumento denominado Calorímetro (Figura 4), utilizando o Método da Bomba Calorimétrica. Suas determinações foram realizadas no Laboratório de Física Aplicada do Departamento de Física e Biofísica, Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu-SP.



Fonte: UNESP-Botucatu/SP.

Figura 4 - Calorímetro equipamento utilizado para determinação do poder calorífico superior

O método consiste em queimar o combustível e medir a variação de temperatura proporcionada pela queima do combustível em certa quantidade de água com massa pré-estabelecida. A variação de temperatura registrada na água é proporcional ao calor liberado pelo combustível.

Componentes do calorímetro:

- Bomba Calorimétrica: recipiente de aço-inox resistente onde é efetuada a queima do combustível;
- Termômetro de mercúrio: utilizado para determinar a temperatura inicial e final;
- Sistema de abastecimento de oxigênio: é necessário inserir oxigênio na bomba calorimétrica para facilitar a combustão;

- Recipiente ou caso calorimétrico: recipiente com uma massa definida de água, que irá trocar calor com a bomba calorimétrica;
- Sistema de ignição: é um sistema que está ligado à rede elétrica por meio de duas aberturas existentes na bomba calorimétrica, no qual se realiza a combustão pelo efeito Joule.

Para cálculo do PCS, foram coletadas amostras do lenho e da casca dos quatro materiais genéticos. Para compor as amostras foram selecionados os discos retirados a 12,5% da altura comercial das árvores abatidas para o cálculo da densidade básica, ou seja, utilizaram-se os discos de 40 árvores por material genético, não se levando em consideração os espaçamentos. A Equação 9 foi utilizada para o cálculo do Poder Calorífico Superior (PCS), sendo:

$$PCS = \frac{K + M_A}{M_S} \cdot \Delta t \quad (9)$$

Onde:

PCS: poder calorífico superior (cal/g);

M_A: a massa de água utilizada na bomba calorimétrica (g);

Δt: o gradiente de temperatura (°C);

K: a constante do calorímetro (g);

M_s: a massa seca da amostra (g).

A massa de água (M_A), utilizada no calorímetro foi de 2.500g e os valores da constante do Calorímetro (K) foram previamente determinados na calibração do Calorímetro, sendo de 489g.

As porcentagens de casca de cada disco de madeira foi calculada de acordo com a Equação (10).

$$P_c = \frac{M_{sc} \cdot 100}{M_{sc} + M_{sd}} \quad (10)$$

Em que:

Pc = porcentagem de casca

Msc = massa seca da casca

Msd = massa seca do disco sem casca

A produtividade em energia de cada tratamento foi definida pelo Incremento Médio Anual de Energia (IMAE), em Gcal ha⁻¹ ano⁻¹ e determinado pelo Poder Calorífico Superior (PCS), em cal g⁻¹, do lenho e da casca dos vinte tratamentos. O PCS (com casca) foi estimado considerando a porcentagem de casca de cada tratamento. A Equação 11 foi utilizada para determinação dos IMAEcc (Gcal ha⁻¹ ano⁻¹).

$$\text{IMAEcc} = \frac{\text{IMAM} \cdot \text{PCScc}}{1000} \quad (11)$$

3.10.4 Análise Econômica

A análise da viabilidade econômica do experimento foi estruturada em 20 combinações (projetos florestais), nos quais foram estimados os custos de implantação e manutenção até os 36 meses de idade da floresta, e o custo da colheita florestal. Neste processo foram ponderados todos os insumos e operações desenvolvidas na implantação e manutenção da floresta, o valor da terra na região, a produção de madeira por tratamento e o preço médio da madeira no campo (Apêndices 8 a 12).

Com o objetivo de registrar as operações desenvolvidas bem como os insumos utilizados na implantação e manutenção florestal do experimento e subsidiar as análises econômicas foi desenvolvido um planilha dos custos envolvidos durante a pesquisa. Em cada período foram definidos os procedimentos executados e quantificados os insumos (kg ha⁻¹), a mão de obra (hh ha⁻¹) e as práticas mecanizáveis (hm ha⁻¹). Os preços foram definidos a partir de orçamentos em estabelecimentos comerciais (para insumos), em escritórios contábeis e empresas prestadoras de serviços (para mão de obra). Para a análise econômica, foram fixados 10% de replantio e a quantidade de mudas de *Eucalyptus spp.* utilizada variou em função do espaçamento (Tabela 6).

Tabela 6: Planilha de aferição de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| OPERAÇÕES E INSUMOS | | |
|---|---------------------|-------------------|
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 0,70 |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 13,00 |
| Combate à Formiga - (Pós-Plantio) I | hh ha ⁻¹ | 3,00 |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 8,00 |
| Adubação de Base | hh ha ⁻¹ | 21,28 |
| Combate à Formiga- (Pós-plantio) II | hh ha ⁻¹ | 3,00 |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 11,40 |
| Adubação de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 21,28 |
| Adubação de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 21,28 |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 |
| Formicida Mirex (500g) - Pré-Plantio | kg | 7,00 |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio I | kg | 1,00 |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio II | kg | 1,00 |
| Glyphosate | L | 3,50 |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 |
| Mudas de <i>Eucalyptus spp.</i> (c/ 10% de replântio) | Unid. | * |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,0 |

*Variável em função do espaçamento de plantio.

Para a análise econômica foi ponderada a meta da taxa Selic para o período de 29/08/2013 à 09/10/2013, que foi de 9,0% conforme o Banco Central do Brasil (2013b), sendo utilizada para títulos de renda fixa do mercado financeiro.

Os custos de implantação, administração, tratos culturais, colheita da madeira e valor de comercialização da madeira, foram expressos em dólar comercial americano, por ser utilizado como moeda internacional de referência, segundo Simões et

al. (2012) e utilizada como parâmetro para o mercado financeiro (COELHO JUNIOR et al., 2008). Foi considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira oficial do Banco Central do Brasil (PTAX 800) a preço de venda, medido em unidades e frações da moeda nacional, que era de R\$ 2,2914 em 01/08/2013 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2013a).

Para a estimativa do valor de remuneração da terra, utilizou-se o valor da terra para reflorestamento, no ano de 2013 para a Região de Bauru-SP, conforme dados disponibilizados pelo Instituto de Economia Agrícola (2013), que era de US\$ 3,366.02 ha⁻¹.

Para a definição dos custos do processo de colheita foram previamente considerados a capacidade operacional e as respectivas despesas. Posteriormente, os custos de colheita foram definidos através de consultas a proprietários e funcionários de empresas produtoras ou de prestação de serviços florestais, que, pela garantida experiência e coerência nas avaliações, definiram preços das operações de colheita, os quais serviram para cálculo de valores médios. Tais valores também têm o objetivo de substituir as informações não consolidadas a partir da revisão bibliográfica, que carece de publicações e resultados relacionados.

Com relação aos valores de comercialização, definiu-se em US\$19.64 os preços pagos no mercado regional para madeira de energia em metros cúbicos para a madeira colhida, empilhada e carregada no conjunto de transporte (caminhão ou carreta), ainda na propriedade rural.

A partir dos dados levantados foram feitas as análises econômicas, dos 20 tratamentos, considerando os seguintes indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (VPL) que é a diferença entre o valor descontado do fluxo de caixa para a data do investimento inicial e o valor de um investimento inicial de um projeto. O Valor Esperado da Terra (VET), termo florestal usado para representar o valor presente líquido de uma área de terra nua a ser utilizada para a produção de madeira, calculado com base numa série infinita de rotações e a Taxa Interna de Retorno (TIR), taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL à zero.

A equação para o cálculo do Valor Presente Líquido é (12):

$$VPL = \sum_{j=0}^n RJ \cdot (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n Cj \cdot (1+i)^{-j} \quad (12)$$

Sendo:

VPL = valor presente líquido;

R_j = receitas no período j;

C_j = custos no período j;

i = taxa de desconto;

j = período de ocorrência do custo e da receita;

n = número total de anos do fluxo de caixa.

O cálculo do VET baseia-se na receita líquida perpétua (RT - CT), excluindo-se o custo da terra, a ser obtido de uma cultura (reflorestamento) e dado pela equação (13):

$$VET = \frac{V_0RL \cdot (1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (13)$$

Em que:

V₀RL = valor atual da receita líquida que se repete a cada ciclo os demais termos são conforme definidos.

O cálculo da TIR é semelhante ao do Valor Presente Líquido, sendo que, no lugar de fixar uma taxa de desconto, esta iguala o VPL a zero. Equação (14).

$$TIR = \sum_{t=0}^n (R_j - C_j) \cdot (1+i)^{-1} = 0 \quad (14)$$

Sendo:

TIR = taxa interna de retorno;

R_j = receitas no período j;

C_j = custos no período j;

i = taxa de desconto;

j = período de ocorrência do custo e da receita;

t = tempo (anos).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desenvolvimento das plantas

4.1.1 Desenvolvimento aos seis meses

Aos seis meses após plantio, a altura das plantas foi influenciada somente pelo clone, não havendo influencia do espaçamento sobre esta variável. O Clone III obteve a maior altura, estatisticamente semelhante ao clone II. Os clones I e IV foram semelhantes e inferiores estatisticamente (Figura 5).

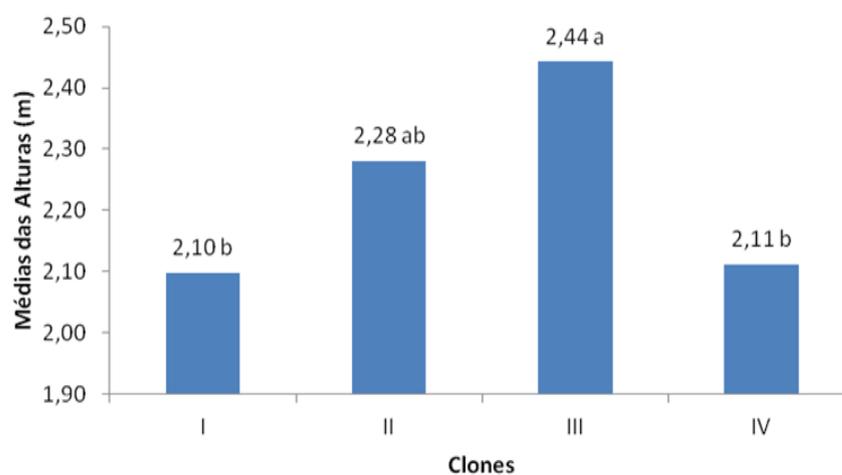


Figura 5 - Altura dos clones (m) aos seis meses após o plantio

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O diâmetro do colo foi influenciado pelo espaçamento, não existindo diferenças entre clones. O diâmetro do colo das plantas (Figura 6) aumentou em função do aumento da área por planta, sendo que o espaçamento 3,0 x 2,0 m (6m²) proporcionou plantas com diâmetros superiores, seguidos dos espaçamentos com 3 m² (B e E), semelhantes entre si. O espaçamento C (3,0 x 0,5m) apresentou os menores resultados para o diâmetro do colo. Os espaçamentos com mesma área por planta, mas com diferentes retangularidades, não apresentaram diferença significativa no desenvolvimento do diâmetro do colo aos seis meses de idade (B e E, C e D).

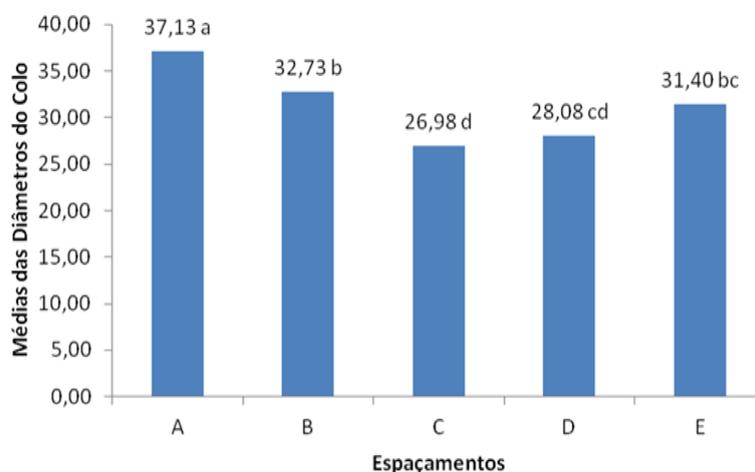


Figura 6 - Diâmetro do colo das plantas (mm) aos seis meses após o plantio

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Espaçamentos: A: 3x2m; B: 3x1m; C: 3x0,5m; D: 1,5x1,0m e E: 1,5 x2,0m.

4.1.2 Desenvolvimento aos 12 meses

Aos 12 meses após o plantio, a altura e o DAP foram influenciados pelo clone e pelo espaçamento não havendo interação entre estes fatores. Com relação à altura (Tabela 7), comparando os espaçamentos dentro de cada clone (horizontal), observa-se que dos quatro clones testados, três deles (clones I, III e IV) não foram afetados pelo espaçamento aos 12 meses após o plantio, e um deles (o clone II) apresentou menores alturas nos espaçamentos mais adensados (3,0 x 0,5 m e 1,5 x 1,0 m). Nas pesquisas de Balloni e Simões (1980) e Moraes (2006) as menores alturas foram encontradas nos menores espaçamentos aos 12 meses após o plantio, porém esses dados contrariam a teoria de que a maior competição por luz entre plantas nos menores espaçamentos estimula o crescimento em altura (SILVA, 1990) e os resultados encontrados por Garcia (2010) onde

a taxa de crescimento em altura decresceu em consequência do aumento do espaçamento em diferentes adubações.

Quando se compara os clones dentro de cada espaçamento (vertical), observa-se que os clones foram semelhantes em altura nos espaçamentos 3,0 x 2,0 m, 3,0 x 1,0 m e 1,5 x 1,0 m. Nos espaçamentos 3,0 x 0,5 m e 1,5 x 2,0 m, a diferença encontrada foi entre o clone I e III, com os menores e maiores resultados, respectivamente.

Aos 12 meses após o plantio, não houve influência da retangularidade sobre a altura das plantas.

Tabela 7: Altura (m) das plantas de *Eucalyptus spp.* aos 12 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|------------|------------------|---------|----------|---------|-----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 8,7 a A | 8,3 a A | 7,6 a B | 7,7 a A | 8,1 a B |
| II | 8,7 a A | 8,6 a A | 8,0 b AB | 7,9 b A | 8,5 ab AB |
| III | 9,5 a A | 8,7 a A | 8,3 a A | 8,3 a A | 8,8 a A |
| IV | 8,5 a A | 8,7 a A | 8,0 a AB | 8,0 a A | 8,5 a AB |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Verifica-se na Tabela 8 (horizontal) que para os clones I e III o tratamentos com maior área por planta (6m^2) resultaram em plantas com DAP superiores, o que condiz com os resultados encontrados por Garcia (2010), onde a taxa de crescimento em diâmetro cresceu em consequência do aumento do espaçamento.

Para os clones II e IV os arranjos 3,0 x 2,0 m (6m^2), 3,0 x 1,0 m e 1,5 x 2,0 m ($3,0\text{m}^2$) foram semelhantes, apresentando os maiores valores de DAP. Os menores DAP para os dois clones foram encontrados no espaçamento mais adensados e de maior retangularidade.

À semelhança do que ocorreu com a altura, não houve diferença de DAP entre os clones nos espaçamentos 3,0 x 2,0 m, 3,0 x 1,0 m e 1,5 x 1,0 m (vertical). No espaçamento 1,5 x 2,0 m o clone I apresentou o menor DAP, sendo os demais clones superiores e semelhantes estatisticamente entre si.

Tabela 8: DAP (cm) das plantas de *Eucalyptus spp.* 12 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 6,8 a A | 5,5 b A | 4,4 c B | 4,7 bc A | 5,5 b B |
| II | 6,9 a A | 5,9 abc A | 4,7 c AB | 5,4 bc A | 6,0 ab A |
| III | 7,5 a A | 6,0 bc A | 5,0 c A | 5,2 bc A | 6,3 b A |
| IV | 6,7 a A | 5,9 ab A | 4,8 b AB | 5,1 b A | 6,3 a A |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Os resultados observados para o DAP confirmam os resultados de Morais (2006) sobre dinâmica de crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do Estado de Minas Gerais, que encontrou aos doze meses, nos menores espaçamentos os menores valores de DAP. Santos (2011) concluiu que quanto maior o espaçamento de plantio, maior foi o diâmetro e a altura das árvores, sendo que a variação foi mais intensa para a variável diâmetro.

Assim, a garantia da uniformidade não depende apenas da genética, uma vez que os fatores ambientais podem variar entre indivíduos devido à qualidade das operações silviculturais, como preparo de solo, fertilização e controle da matocompetição, afetando o crescimento individual das árvores e acelerando a competição intraespecífica e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade florestal (STAPE et al., 2004 apud SILVA, 2005). Sendo assim, decisões quanto à escolha do melhor arranjo de plantio não podem ser tomadas com base nas avaliações iniciais, antes dos 3 anos, podendo levar à adoção de arranjos inadequados, que resultarão em menor produtividade ao final da rotação (SILVA, 2005).

4.1.3 Desenvolvimento aos 24 meses

Aos 24 meses após o plantio houve influência dos fatores analisados tanto para altura quanto para DAP. Com relação à altura, tanto para o clone, quanto para o espaçamento houve diferenças significativas. Aos 24 meses os espaçamentos mais adensados apresentaram as menores alturas e o efeito da retangularidade só foi significativo para o clone IV, entre os espaçamentos 3,0 x 1,0 m e 1,5 x 2,0 m (Tabela 9).

As maiores alturas obtidas nos espaçamentos amplos condiz com os resultados apresentados por Santos (2011), mas contrariam as constatações de Patino-Valera (1986), Bernardo (1995) e Assis et al. (1999), pois segundo estes autores, o maior crescimento inicial em altura das árvores ocorre em espaçamentos menores. Porém, Balloni e Simões (1980) afirmam que existem casos em que a altura média aumenta com o espaçamento e outros em que o resultado é inverso.

Tabela 9: Altura (m) das plantas de *Eucalyptus spp.* aos 24 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|----------|-----------|----------|------------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 14,8 a A | 14,7 a A | 12,8 ab A | 11,8 b A | 13,2 ab A |
| II | 14,9 ab A | 15,0 a A | 12,8 bc A | 11,4 c A | 13,3 abc A |
| III | 16,0 a A | 15,0 a A | 12,6 b A | 12,3 b A | 13,5 ab A |
| IV | 14,6 a A | 14,4 a A | 11,7 b A | 11,2 b A | 11,1 b B |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Os resultados obtidos para o DAP demonstram que esta variável é muito influenciada pelo espaçamento, tornando-se tendência desde os 6 meses de idade do experimento, ou seja, quanto maior o adensamento, menor o diâmetro das plantas (Tabela 10). O menor DAP que o Clone I apresentava aos 12 meses em relação aos demais, desapareceu aos 24 meses. Esses resultados confirmam as observações de Morais (2006) em que a escolha do espaçamento inicial de plantio tem um impacto muito maior no diâmetro que na altura. Com exceção do clone IV que apresentou DAP no espaçamento 1,5 x 2,0m semelhante aos valores encontrados nos espaçamentos 3,0 x 0,5m e 1,5 x 1,0m, nos demais clones os espaçamentos mais adensados apresentaram os menores DAP. Não houve diferença significativa para o DAP em função da retangularidade. Diversos autores já constataram que o DAP é uma característica altamente responsiva ao espaçamento de plantio, sendo tanto maior quanto maior a área útil por planta e a idade do povoamento, até certo limite (GOMES, 1994; BERNARDO, 1995; BOTELHO, 1998; LELES et al., 2001; LADEIRA et al., 2001; OLIVEIRA NETO et al., 2003; PINKARD e NEILSEN, 2003. Silva (1999) concluiu que o diâmetro diminuiu com a redução da área útil por planta, resultando em menor volume por árvore.

Tabela 10: DAP das plantas de *Eucalyptus spp.* aos 24 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|---------|---------|----------|----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 10,0 a A | 7,4 b A | 5,5 c A | 5,3 c A | 7,2 b AB |
| II | 9,6 a A | 7,6 b A | 5,2 c A | 5,1 c A | 7,2 b AB |
| III | 10,4 a A | 7,8 b A | 5,8 c A | 5,7 c A | 7,9 b A |
| IV | 9,5 a A | 7,6 b A | 5,3 c A | 5,7 bc A | 6,6 bc B |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

4.1.4 Desenvolvimento aos 36 meses

Ao final de 36 meses a altura das plantas foi influenciada tanto pelo material genético quanto pelo espaçamento, existindo interação entre estes fatores. Com relação a altura, o espaçamento influenciou o desenvolvimento de forma diferenciada entre os clones. O espaçamento maior (6m^2) produziu plantas com alturas superiores aos demais espaçamentos em três clones (I, II e III) exceto para o clone IV cuja altura foi semelhante ao espaçamento $1,5 \times 2,0\text{m}$ (3m^2). Os espaçamentos que proporcionaram área de $1,5\text{m}^2$ por planta apresentaram as menores alturas em todos os clones, exceção ao clone IV no espaçamento $1,5 \times 1,0 \text{m}$ (menor retangularidade) (Tabela 11).

Segundo Moraes (2006) em espaçamentos mais amplos, as plantas têm um maior incremento decorrente de maior área útil. Já Patino Valera (1986), Bernardo (1995) e Assis et al (1999) contrariam estes resultados, pois encontraram maior crescimento inicial em altura nas plantas em espaçamentos menores, provavelmente resultado de uma competição entre as plantas gerado pelos espaçamentos testados.

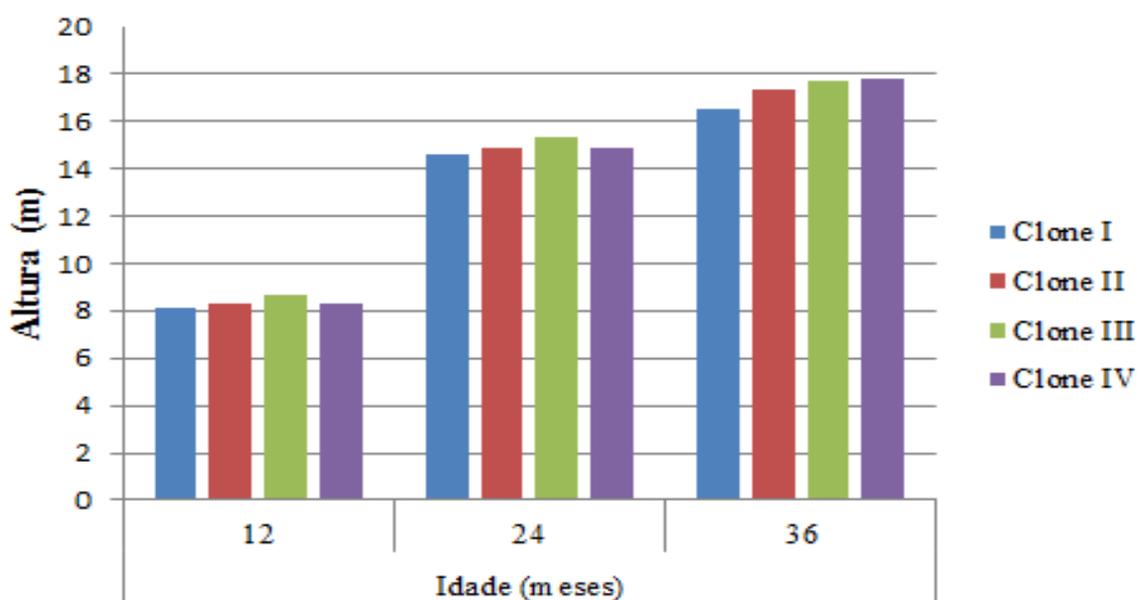
Nos tratamentos com área por planta de 3m^2 não houve efeito da retangularidade, exceto para o clone IV, cuja menor retangularidade refletiu em altura média superior, tal como aconteceu quando este clone e o clone I foram plantados em espaçamentos que proporcionaram uma área de $1,5\text{m}^2$, ou seja, para estes clones a maior retangularidade proporcionou menores alturas. Os demais clones (II e III) nos tratamentos com $1,5\text{m}^2$ por planta não tiveram suas alturas médias influenciadas pela retangularidade.

Tabela 11: Altura (m) das plantas de *Eucalyptus spp.* aos 36 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 18,5 a B | 16,9 b A | 14,5 d B | 15,9 c B | 16,9 b C |
| II | 18,6 a B | 17,6 b A | 16,1 c A | 16,4 c AB | 17,9 b B |
| III | 20,0 a A | 17,6 b A | 16,3 c A | 16,6 c AB | 18,1 b AB |
| IV | 19,5 a A | 17,5 b A | 16,0 c A | 17,2 b A | 19,0 a A |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Ao longo dos três anos os clones mantiveram o mesmo comportamento em relação ao crescimento em altura, exceção ao clone IV que no início teve um desenvolvimento mais lento, mas que ao final de 36 meses alcançou o clone III que desde o início do plantio teve o maior desenvolvimento (Figura 7).

**Figura 7** - Altura média (m) das plantas em função dos clones aos 12, 24 e 36 meses.

A influência do espaçamento foi aumentando ao longo do tempo. Até o 12 meses observou-se pequena variação de altura entre os espaçamentos (máximo de 0,9m). Aos 36 meses a diferença chegou a 3,5m (Figura 8).

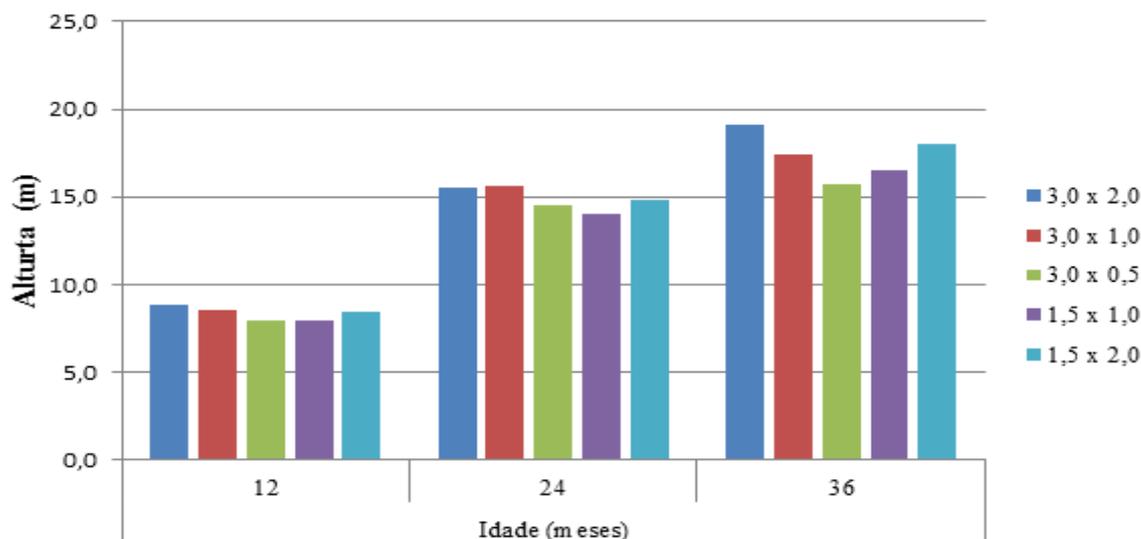


Figura 8 - Altura média (m) das plantas em função dos espaçamentos, aos 12, 24 e 36 meses.

Com relação ao DAP (Tabela 12) houve interação entre clones e espaçamentos, ou seja, a influência do espaçamento foi diferente para cada clone. Contudo, independente do clone, as maiores médias de DAP foram encontradas no tratamento de maior espaçamento (3,0 x 2,0 m). Segundo Bernardo (1995) e Oliveira Neto et al. (2003) o espaçamento exerce grande influência no crescimento em diâmetro principalmente na fase inicial de desenvolvimento das plantas.

Tabela 12: DAP (cm) das plantas de *Eucalyptus spp.* aos 36 meses após o plantio

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 12,0 a AB | 9,1 b B | 7,2 c B | 7,7 c B | 9,5 b BC |
| II | 11,3 a C | 9,2 b AB | 7,7 c AB | 7,8 c B | 9,4 b C |
| III | 12,5 a A | 9,7 b A | 8,2 c A | 8,3 c AB | 10,3 b AB |
| IV | 11,9 a BC | 9,7 c A | 8,1 d A | 8,6 d A | 10,7 b A |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

No maior espaçamento (6 m²) os clones I e III foram superiores em DAP, o clone IV obteve valor intermediário e o clone II o menor desenvolvimento. Nos espaçamentos 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 0,5 m os clones tiveram o mesmo comportamento, sendo que os maiores valores médios de DAP foram dos clones III e IV e o clone I o menor valor.

Nos espaçamentos 1,5 x 1,0 m e 1,5 x 2,0 m a maior média foi encontrada no clone IV embora semelhante ao clone III. No espaçamento 1,5 x 2,0 m o clone II apresentou a menor média, embora semelhante ao clone I. Não houve efeito da retangularidade sobre o DAP, com exceção do clone IV nos tratamentos com 3,0 m² por planta, que apresentou maior DAP no espaçamento de menor retangularidade (1,5 x 2,0 m) (Tabela 20).

Silva (2005) observou que na fase inicial, os arranjos de plantio com maior retangularidade apresentam os maiores volumes de madeira, porém, com o passar do tempo ocorre redução da produtividade com o aumento das distâncias entrelinhas e os arranjos com menor retangularidade produzem maior volume de madeira.

Segundo Binkley et al. (2002) esta redução de crescimento no arranjo de maior retangularidade pode ser atribuída a uma competição estabelecida precocemente entre as plantas na linha (provavelmente iniciando entre o 2º e 3º ano), aumentando a quantidade de árvores dominadas, as quais possuem menor eficiência de utilização dos recursos do meio comparadas às árvores dominantes.

Vale et al. (1982) e Leite et al. (1997) observaram que a adoção de espaçamentos muito reduzidos acarretou a produção de toras de pequeno diâmetro e um grande número de falhas e de árvores dominadas, comprometendo de forma expressiva o volume final produzido.

A Figura 9 mostra a pequena variação existente entre os clones no que diz respeito aos valores médios do DAP em cada época avaliada (12, 24 e 36 meses), com o clone III apresentando pequena superioridade em relação aos demais clones.

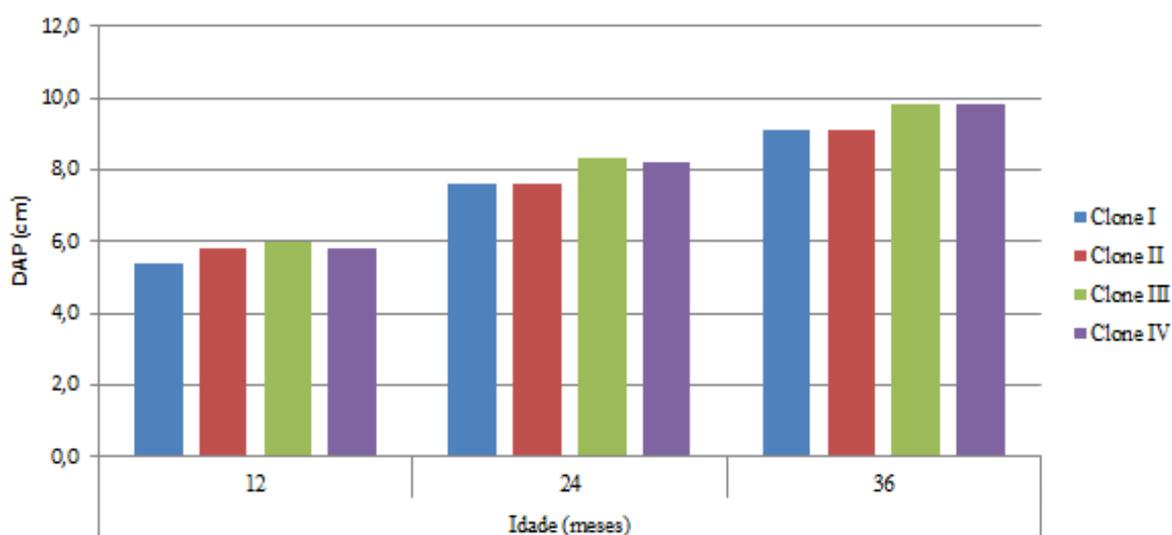


Figura 9 - DAP médio (cm) das plantas em função dos clones aos 12, 24 e 36 meses.

O comportamento dos clones nos diferentes espaçamentos (Figura 10) demonstra variação, mostrando a influência deste fator sobre o DAP das plantas ao longo dos 36 meses, ou seja, quanto maior a área por planta maior o DAP.

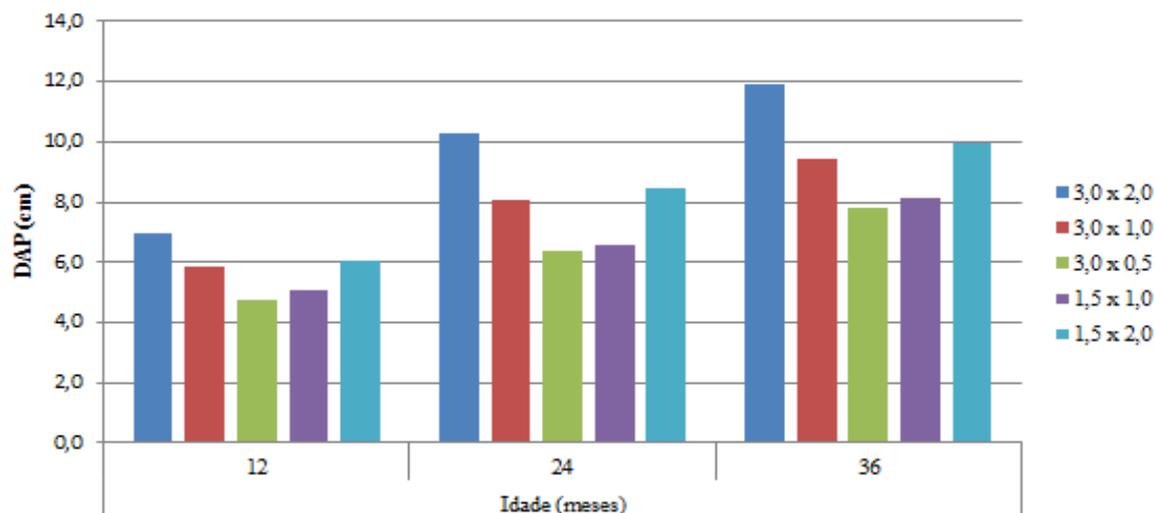


Figura 10 - DAP médio (cm) das plantas em função dos espaçamentos, aos 12, 24 e 36 meses.

4.2. Produtividade aos 36 meses

4.2.1 Volume de Madeira com Casca

Com relação ao volume de madeira com casca por ha, houve interação entre clone e espaçamento, ou seja, o espaçamento influenciou de forma diferenciada cada clone. Para os clones I e III, o maior volume de madeira com casca por ha foi obtido no espaçamento de 3,0 x 0,5m (menor espaçamento com maior retangularidade). Para o clone II o espaçamento de 3,0 x 1,0m foi superior e para o clone IV o maior volume foi obtido no espaçamento 1,5 x 1,0m (menor espaçamento com menor retangularidade) (Tabela 13).

Para todos os clones, o espaçamento 3,0 x 2,0m proporcionou os menores volumes de madeira com casca por ha. Quando comparado os tratamentos com 3,0m² por planta, verificou-se que a maior retangularidade produziu maior volume. Para os tratamentos com menor área por planta (1,5m²) a maior retangularidade proporcionou os maiores volumes nos clones I e III e o menor para o clone IV. A retangularidade não influenciou o volume de madeira por ha do clone II.

O clone III apresentou os melhores resultados em volume em três espaçamentos de plantio, sendo superado somente no espaçamento 1,5 x 1,0m que o clone IV.

Silva (2005) estudando o efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones verificou que com o aumento do espaçamento ocorria um acréscimo dos valores médios de volume individual. Santos (2011) estudando efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone de eucalipto dos 36 aos 72 meses constatou que com o aumento do espaçamento de plantio, maior foi o crescimento em diâmetro e altura das árvores, conseqüentemente maior volume.

Sereghetti (2012) constatou que existe uma tendência dos espaçamentos menores apresentarem volume individual menor e um volume por área maior, fato observado parcialmente nesta pesquisa.

Poucos são os resultados encontrados na literatura para estes espaçamentos e para esta idade, porém observa-se que os volumes de madeira obtidos aos 36 meses de idade no espaçamento 3,0 x 2,0 m (6 m²) foram superiores aos volumes de madeira, para este espaçamento nesta idade, obtidos por Moraes (2006), com 107,85 m³ ha⁻¹, experimento conduzido em Paracatu, região noroeste do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 17°36'09"S e 46°42'02"W, a uma altitude aproximada de 550m e solo predominante Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Silva (2005) 93,35 m³ ha⁻¹, com o experimento instalado no município de Altinópolis, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 21°08'S e 47°29'W e altitude de 604 m com solo classificado como Neossolo Quartzarênico, Álico ou Distrófico, Órtico típico, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado; Santana (2009), 126,53 m³ ha⁻¹, com área experimental localizada no Município de Bom Sucesso, Oeste do Estado de Minas Gerais, a uma latitude sul de 21°01'59" e a uma longitude oeste de 44°45'29" do Meridiano de Greenwich e solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, contendo 51 a 60% de argila e Muller da Silva et al. (2008) com 100,34 m³ ha⁻¹, com experimento desenvolvido no município de Itatinga, SP, na latitude 23° 02' e longitude 48° 37', com altitude média de 830 m e solo da área experimental do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo com textura médio-arenosa, suavemente ondulado e de baixa fertilidade natural.

Tabela 13: Volume de madeira com casca de *Eucalyptus spp.* ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) aos 36 meses

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 3,0 x 2,0 | 3,0 x 1,0 | 3,0 x 0,5 | 1,5 x 1,0 | 1,5 x 2,0 |
| I | 153,7 dC | 176,0 bD | 205,3 aC | 176,3 bD | 163,4 cD |
| II | 141,8 dD | 229,9 aB | 187,7 cD | 190,2 cC | 198,7 bC |
| III | 192,4 eA | 241,6 bA | 275,5 aA | 220,8 dB | 229,7 cA |
| IV | 167,6 eB | 206,7 cC | 217,2 bB | 250,7 aA | 202,5 dB |

Letras iguais minúsculas, no clone, e maiúsculas, no espaçamento, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.2 Porcentagem de sobrevivência aos 36 meses

A sobrevivência aos 36 meses foi influenciada pelo clone e pelo espaçamento, não ocorrendo interação entre estes dois fatores (Tabela 14). Macedo et al. (2000) consideram que o potencial de estabelecimento de espécies florestais, avaliado por meio da porcentagem de sobrevivência, expressa a capacidade de adaptação e o vigor das plantas, frente as reais condições ecológicas observadas no campo, pós-plantio definitivo. Segundo este autor, é sob as diferentes condições de campo que, normalmente, as mudas de espécies florestais diferem em suas expressões fenotípicas, as quais retratam fielmente as magnitudes e os efeitos das interações genótipo/ambiente.

As porcentagens de sobrevivência foram semelhantes estatisticamente entre os espaçamentos 3,0 x 2,0 m, 3,0 x 1,0 m e 1,5 x 2,0 m, com exceção do Clone IV, no espaçamento 1,5 x 2,0 m (3m^2). Com exceção do Clone I e III no espaçamento 3,0 x 0,5 m e do Clone III no espaçamento 1,5 x 1,0 m, todos os demais clones, com área útil de $1,5 \text{m}^2$, apresentaram diferenças significativas em relação aos espaçamentos menos adensados, ou seja, menor porcentagem de sobrevivência (Tabela 23). Como estes percentuais de sobrevivência não foram acompanhados mensalmente, não se podem inferir comentários sobre a influência da época do ano sobre estes dados. Porém, em Moraes (2006) encontra-se porcentagem média de sobrevivência aos 84 meses após o plantio superior a 88,0% sendo estes índices, justificados pela autora, como parte do potencial do clone testado em estabelecimento e adaptação às condições ecológicas da região. Com relação a retangularidade, nos espaçamentos com área útil de 3m^2 (3,0 x 1,0 m e 1,5 x 2,0 m), não houve diferença significativa, com exceção do Clone IV, no

espaçamento 1,5 x 2,0 m que apresentou menor porcentagem de sobrevivência. Nos espaçamentos com área útil de 1,5 m², não houve diferença significativa entre a porcentagem de sobrevivência dos clones (Tabela 22).

Tabela 14: Porcentagem média de sobrevivência aos 36 meses.

| Clone | Espaçamentos (m) | | | | |
|-------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 92,4 a A | 93,1 a A | 78,5 ab A | 66,0 b A | 83,3 ab A |
| II | 93,1 a A | 84,7 ab A | 66,0 b A | 63,2 b A | 84,7 ab A |
| III | 94,4 a A | 88,9 ab A | 74,3 ab A | 69,4 b A | 86,8 ab A |
| IV | 88,9 a A | 83,3 ab A | 64,6 b A | 66,7 ab A | 66,0 b A |

Letras iguais minúsculas, no clone, e maiúsculas, no espaçamento, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Evert (1971) apud Balloni e Simões (1980), através de uma revisão de literatura, observou que a sobrevivência foi influenciada por espaçamentos até 3,5m²/planta. Segundo este autor, além deste espaçamento, as causas, seriam outras que não o efeito da competição entre plantas. Guimarães (1965) apud Patiño Valera e Kageyama (1988) verificou para *E. saligna*, aos 8 anos de idade, a tendência para se aumentar a mortalidade das árvores e a porcentagem de dominadas em espaçamentos mais apertados. Segundo Balloni e Simões (1980) para a maioria das espécies, os espaçamentos mais apertados, mesmo com maior percentual de falhas e árvores dominadas, permitirão que se tenha um maior volume total de madeira, além de um maior número de árvores para segunda rotação, o que é desejável nos regimes de talhardia.

Para Hillis e Brown (1978) apud Balloni e Simões (1980) a maioria das espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento é intolerante à competição, ocorrendo uma rápida segregação do talhão em estratos (dominantes, codominantes e dominado). O tempo para definição dos estratos será maior ou menor dependendo do espaçamento, da espécie, da qualidade do “site” e de uma interação entre estes fatores. Esta estratificação é produto da habilidade competitiva das árvores, cuja variação ocorre tanto entre espécies como entre árvores dentro de uma mesma espécie. Para Balloni e Simões (1980), após alguns anos de crescimento da floresta, as plantas entram em competição por água, luz e nutrientes. Por tanto, é esperado que os fatores abióticos do “site” (climáticos, edáficos e fisiográficos) devam ter suas influências na escolha do espaçamento. Locais mais secos

e/ou com solos de mais baixa fertilidade apresentam tendências a suportar um número menor de plantas por área do que locais mais úmidos e férteis, ou seja, existe uma área basal máxima para cada “site”.

Sobre este aspecto, Barret et al. (1975) apud Balloni e Simões (1980) afirmam que plantios de *Eucalyptus* em espaçamentos menores que 2m²/planta somente seriam indicados para os melhores “sites”. Em “sites” pobres, os espaçamentos deveriam ser superiores a 3m²/planta.

4.3 Qualidade da madeira

4.3.1 Densidade básica do lenho aos 36 meses

A densidade básica do lenho foi influenciada somente pelo fator clone. As densidades básicas obtidas apresentaram valores intermediários, às médias encontradas na literatura, variando de 0,38g cm⁻³ a 0,47g cm⁻³, conforme mostra a Tabela 15. Alencar (2002) estudando a densidade de híbridos de *E. grandis* x *E. uroplhylla*, com idade de 1 a 7 anos constatou incremento da densidade básica a medida que a idade da floresta aumentava. Em Sereghetti (2012) encontram-se valores médios de densidade básica de um híbrido de *E. grandis* x *E. uroplhylla*, aos 12 meses, variando de 0,35g cm⁻³ a 0,41g cm⁻³. Carvalho (2000) relata que a densidade básica média da madeira obtida para o híbrido de eucalipto foi de 0,49 g cm⁻³, com valores variando de 0,46g cm⁻³ e 0,52 g cm⁻³. No espaçamento 1,5 x 2,0 m, o clone II apresentou densidade inferior aos demais. No espaçamento 3,0 x 0,5 m os clones III e IV apresentaram menor densidade em relação aos clones I e II. Nos demais espaçamentos não houve diferenças significativas de densidade entre os clones.

Para todos os clones testados não houve diferença significativa, em função dos espaçamentos, confirmando os dados apresentados por Vital et al. (1981), que analisando o desenvolvimento do *Eucalyptus grandis* não encontraram aos 30 meses de idade, influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira. Em contra partida, um estudo da densidade básica de *Eucalyptus grandis*, em função de 12 espaçamentos de plantio com idade média de 10 anos, Goulart et al. (2003) concluíram que, exceto para os menores espaçamentos, houve uma redução da densidade básica com o aumento do

espaçamento. Garcia et al. (1991), também encontraram uma diminuição da densidade com o aumento do espaçamento.

Tabela 15: Densidade básica do lenho de *Eucalyptus spp.* (g cm^{-3}) aos 36 meses de idade.

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 3,0 x 2,0 | 3,0 x 1,0 | 3,0 x 0,5 | 1,5 x 1,0 | 1,5 x 2,0 |
| I | 0,47aA | 0,43aA | 0,46aA | 0,41aA | 0,42aA |
| II | 0,45aA | 0,42aA | 0,41aA | 0,43aA | 0,38aB |
| III | 0,41aA | 0,42aA | 0,39aB | 0,43aA | 0,41aA |
| IV | 0,42aA | 0,42aA | 0,38aB | 0,40aA | 0,43aA |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

4.3.2 Densidade básica da casca aos 36 meses

A densidade básica da casca também foi influenciada somente pelo fator clone. Os valores obtidos variaram de $0,20 \text{ g cm}^{-3}$ a $0,26 \text{ g cm}^{-3}$, abaixo dos dados apresentados pela literatura, pois segundo Foelkel (2005), a densidade básica da casca do eucalipto varia entre $0,24$ até $0,40 \text{ g cm}^{-3}$ (mais usual entre $0,3$ a $0,35 \text{ g cm}^{-3}$). Na tabela 16, observa-se que não houve influência do espaçamento sobre a densidade da casca para todos os clones. Somente nos espaçamentos de $1,5 \times 1,0\text{m}$ e $1,5 \times 2,0\text{m}$ houve diferenças da densidade de casca entre clones. No primeiro caso, os clones I e IV apresentaram os menores valores e no segundo caso o clone IV obteve a menor densidade de casca.

Tabela 16: Densidade básica da casca (g cm^{-3}) em plantas de *Eucalyptus spp* aos 36 meses de idade.

| Clones | Espaçamentos (m) | | | | |
|--------|------------------|--------|---------|---------|---------|
| | 3 x 2 | 3 x 1 | 3 x 0,5 | 1,5 x 1 | 1,5 x 2 |
| I | 0,22 aA | 0,22aA | 0,24aA | 0,22aB | 0,23aA |
| II | 0,24aA | 0,24aA | 0,22aA | 0,24aA | 0,23aA |
| III | 0,24aA | 0,24aA | 0,24aA | 0,26aA | 0,23aA |
| IV | 0,22aA | 0,22aA | 0,21aA | 0,20aB | 0,21aB |

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

4.3.3 Porcentagem de Casca

A porcentagem de casca não foi influenciada pelos fatores estudados. Com valores variando entre 7,2% no Tratamento 1 a 10,8% no Tratamento 14 (Tabela 17).

Tabela 17: Percentual médio de casca, densidades básicas sem casca (Dbsc) e com casca (Dbcc) e a sua variação percentual nos 20 tratamentos.

| Clones | Tratamento | (%) de casca | Dbsc (g cm ⁻³) | Dbcc (g cm ⁻³) | Var.(%) de Dbcc/Dbsc |
|--------|------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| I | 1 | 7,20 | 0,47 | 0,45 | 3,98 |
| I | 2 | 7,80 | 0,43 | 0,41 | 3,96 |
| I | 3 | 7,70 | 0,46 | 0,44 | 3,82 |
| I | 4 | 8,30 | 0,41 | 0,39 | 4,00 |
| I | 5 | 8,10 | 0,42 | 0,40 | 3,80 |
| II | 6 | 8,90 | 0,45 | 0,43 | 4,33 |
| II | 7 | 9,00 | 0,42 | 0,40 | 4,01 |
| II | 8 | 9,00 | 0,41 | 0,39 | 4,35 |
| II | 9 | 8,50 | 0,43 | 0,41 | 3,90 |
| II | 10 | 10,60 | 0,38 | 0,36 | 4,37 |
| III | 11 | 9,40 | 0,41 | 0,39 | 4,06 |
| III | 12 | 8,80 | 0,42 | 0,40 | 3,92 |
| III | 13 | 9,30 | 0,39 | 0,38 | 3,71 |
| III | 14 | 10,80 | 0,43 | 0,41 | 4,46 |
| III | 15 | 9,80 | 0,41 | 0,39 | 4,50 |
| IV | 16 | 8,70 | 0,42 | 0,40 | 4,32 |
| IV | 17 | 9,00 | 0,42 | 0,40 | 4,48 |
| IV | 18 | 9,00 | 0,38 | 0,36 | 4,20 |
| IV | 19 | 8,50 | 0,40 | 0,38 | 4,44 |
| IV | 20 | 7,90 | 0,43 | 0,41 | 4,21 |

4.3.4 Poder Calorífico Superior do Lenho

Houve diferença estatística entre os clones para Poder Calorífico Superior do Lenho (PCS). O clone II apresentou o maior PCS, sendo semelhante ao clone I. O clone IV apresentou o menor PCS, não diferindo do clone III (Tabela 18). Os valores apresentados encontram-se na média dos valores obtidos por Couto et al. (2008) que relata

que o Poder Calorífico Superior de espécies de eucalipto estão situadas entre 4.312 a 5.085 kcal kg⁻¹.

Tabela 18: PCS do Lenho de *Eucalyptus spp.* aos 36 meses de idade.

| Clones | PCS (kcal kg ⁻¹) |
|--------|------------------------------|
| I | 4859 AB |
| II | 4919 A |
| III | 4771 BC |
| IV | 4712 C |

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

4.3.5 Poder Calorífico Superior da Casca

Houve diferença significativa entre os clones para Poder Calorífico Superior da Casca (PCS). Observa-se na Tabela 19 que o clone II apresentou o maior PCS, sendo semelhante ao clone I, que por sua vez não diferiu do clone IV. O clone III apresentou o menor PCS, porém semelhante ao clone IV. Estes resultados condizem com os dados obtidos por Santiago (2013) que encontrou valores mínimos para PCS da casca de 4405 kcal kg⁻¹. Os resultados obtidos são superiores aos relatados por Pereira Junior (2001), que ao analisar amostras de cascas de *Eucalyptus grandis* obteve para PCS valores de 3657 kcal kg⁻¹.

Tabela 19: PCS da Casca de *Eucalyptus spp.* aos 36 meses de idade.

| Clones | PCS (kcal kg ⁻¹) |
|--------|------------------------------|
| I | 4442 A B |
| II | 4540 A |
| III | 4297 C |
| IV | 4364 B C |

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.

Quando se relaciona o PCS Total (casca e lenho) observa-se que estes valores ficam muito próximos aos valores do PCS do lenho, em função do percentual

de casca, ou seja, quanto menor o percentual de casca maior o PCS total (Tabela 20). Segundo Foekel (2005) as cascas são materiais combustíveis de segunda qualidade, pois em geral são muito úmidas, volumosas e possuem altos teores de cinzas. Os resultados obtidos não confirmam os dados obtidos em Foekel (2005), pois segundo este autor a quantidade de casca nas árvores varia com a espécie, havendo alta correlação inversa entre o crescimento da árvore e a porcentagem de casca.

Tabela 20: Influência do percentual de casca sobre o PCS Total

| Clones | Tratamento | (%) de casca | PCS Lenho (kcal kg ⁻¹) | PCS Casca (kcal kg ⁻¹) | PCS Total (kcal kg ⁻¹) |
|--------|------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| I | 1 | 7,2 | 4859 | 4442 | 4829 |
| I | 2 | 7,8 | 4859 | 4442 | 4826 |
| I | 3 | 7,7 | 4859 | 4442 | 4827 |
| I | 4 | 8,3 | 4859 | 4442 | 4824 |
| I | 5 | 8,1 | 4859 | 4442 | 4825 |
| II | 6 | 8,9 | 4919 | 4540 | 4885 |
| II | 7 | 9,0 | 4919 | 4540 | 4885 |
| II | 8 | 9,0 | 4919 | 4540 | 4885 |
| II | 9 | 8,5 | 4919 | 4540 | 4887 |
| II | 10 | 10,6 | 4919 | 4540 | 4879 |
| III | 11 | 9,4 | 4771 | 4297 | 4727 |
| III | 12 | 8,8 | 4771 | 4297 | 4730 |
| III | 13 | 9,3 | 4771 | 4297 | 4727 |
| III | 14 | 10,8 | 4771 | 4297 | 4720 |
| III | 15 | 9,8 | 4771 | 4297 | 4725 |
| IV | 16 | 8,7 | 4712 | 4364 | 4682 |
| IV | 17 | 9,0 | 4712 | 4364 | 4681 |
| IV | 18 | 9,0 | 4712 | 4364 | 4681 |
| IV | 19 | 8,5 | 4712 | 4364 | 4682 |
| IV | 20 | 7,9 | 4712 | 4364 | 4684 |

4.3.6 Incremento Médio Anual por ha em Energia

Em florestas adensadas, de rápido crescimento onde o produto final que se busca tem finalidades energéticas, além do volume de madeira e do Incremento Médio Anual com casca (IMAVcc), outras variáveis precisam ser analisadas, como por exemplo, a densidade da madeira, o percentual de casca e o poder calorífico e os menores volumes de madeira com casca e incremento médio anual foram obtidos nos espaçamentos menos adensados (Tratamentos 1, 6, 11 e 16). Esses dados confirmam os dados obtidos,

por Garcia et al. (1991) que observaram que com a diminuição do espaçamento houve aumento na produção volumétrica de madeira; Leles et al. (2001) comentaram que ocorreu um contínuo decréscimo do volume de madeira de espécies de eucalipto com o aumento do espaçamento; Leite et al. (1997) que estudando o crescimento do *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos em duas idades 31 e 39 meses concluíram que a diminuição do espaçamento gerou um acréscimo do volume por ha e Garcia (2010) que estudando o efeito do espaçamento e adubação em plantio de eucaliptos observou que houve um decréscimo do volume de madeira com casca por ha em razão do aumento da distância entre as árvores. Quando se analisam estes fatores de forma integrada, nem sempre os tratamentos que apresentam os maiores volumes de madeira são os mesmos que irão apresentar os maiores incrementos em energia, como observado na Tabela 21, onde o Clone IV (Tratamento 19) apresenta o segundo melhor IMAVcc e o quarto IMAEcc, ou o contrário, o Clone II (Tratamento 7) que apresenta o quinto IMAVcc e o terceiro IMAEcc.

Tabela 21: Incremento Médio Anual com Casca base em Volume, em Massa e em Energia aos 36 meses.

| Tratamento | Clone | Espaçamento | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | IMAVcc (m ³ ha ⁻¹ /ano) | IMAMcc (t ha ⁻¹ /ano) | IMAEcc (Gcal ha ⁻¹ /ano) |
|------------|-------|---------------|---|--|-------------------------------------|--|
| 1 | I | 3,0 x 2,0 m | 153,7 | 51,2 | 22,7 | 109,8 |
| 2 | | 3,0 x 1,0 m | 176,0 | 58,7 | 23,6 | 114,1 |
| 3 | | 3,0 x 0,5 m | 205,3 | 68,4 | 29,5 | 142,4 |
| 4 | | 1,5 x 1,0 m | 176,3 | 58,8 | 22,6 | 109,2 |
| 5 | | 1,5 x 2,0 m | 163,4 | 54,5 | 21,8 | 105,4 |
| 6 | II | 3,0 x 2,0 m | 141,8 | 47,3 | 20,1 | 98,1 |
| 7 | | 3,0 x 1,0 m | 229,9 | 76,6 | 30,6 | 149,4 |
| 8 | | 3,0 x 0,5 m | 187,7 | 62,6 | 24,0 | 117,4 |
| 9 | | 1,5 x 1,0 m | 190,2 | 63,4 | 25,5 | 124,5 |
| 10 | | 1,5 x 2,0 m | 198,7 | 66,2 | 23,6 | 115,4 |
| 11 | III | 3,0 x 2,0 m | 192,4 | 64,1 | 25,0 | 116,9 |
| 12 | | 3,0 x 1,0 m | 241,6 | 80,5 | 32,6 | 152,5 |
| 13 | | 3,0 x 0,5 m | 275,5 | 91,8 | 33,5 | 156,7 |
| 14 | | 1,5 m x 1,0 m | 220,8 | 73,6 | 28,3 | 131,9 |
| 15 | | 1,5 m x 2,0 m | 229,7 | 76,6 | 29,8 | 139,1 |
| 16 | IV | 3,0 m x 2,0 m | 167,6 | 55,9 | 21,8 | 103,2 |

Tabela 21: Incremento Médio Anual com Casca base em Volume, em Massa e em Energia aos 36 meses (Continuação).

| Tratamento | Clone | Espaçamento | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | IMAVcc (m ³ ha ⁻¹ /ano) | IMAMcc (t ha ⁻¹ /ano) | IMAEcc (Gcal ha ⁻¹ /ano) |
|------------|-------|---------------|---|--|-------------------------------------|--|
| 17 | | 3,0 m x 1,0 m | 206,7 | 68,9 | 26,7 | 126,2 |
| 18 | | 3,0 m x 0,5 m | 217,2 | 72,4 | 25,8 | 122,4 |
| 19 | | 1,5 m x 1,0 m | 250,7 | 83,6 | 30,9 | 146,5 |
| 20 | | 1,5 m x 2,0 m | 202,5 | 67,5 | 26,8 | 127,0 |

4.5 Análise de viabilidade econômica dos tratamentos

Os valores de implantação e manutenção da floresta até os três anos de idade variaram de US\$ 2,206.00 para os tratamentos menos adensados (3,0 x 2,0 m) a US\$ 4,102.45 para os tratamentos mais adensados e de menor retangularidade (1,5 x 1,0 m) conforme os dados apresentados na Tabela 22. Os custos estimados para a implantação aumentam com o adensamento da floresta, e com a menor retangularidade, pois nestes casos há maior consumo de mudas, uso de mão de obra e dispêndio com horas de máquinas para o preparo do solo. Muller (2005) trabalhando com florestas adensadas registra valores de implantação e manutenção até os 24 meses que variaram de R\$ 1.486,21 (3,0 x 2,0 m) a R\$ 2.498,87 (3,0 x 0,5 m). Já, Sartori (2013), aponta durante o período de 12 anos, valores de implantação e manutenção em R\$ 5.681,24 ha⁻¹. Rapassi et al. (2008) e Mellido (2012), com manejo de 12 anos, consolidaram, respectivamente, R\$ 2.099,24 ha⁻¹ e R\$ 5.519,99 ha⁻¹. Para implantação e manutenção em 6 anos, Carmo (2011), Castro et al. (2011) e Fielder et al. (2011), chegaram a valores de R\$ 3.774,52 ha⁻¹, R\$ 2.722,56 ha⁻¹ e R\$ 3.419,80 ha⁻¹, respectivamente. Pavan et al. (2010) trabalhando com sistema em talhadia com três rotações consolidou R\$ 4.200,57 ha⁻¹. Para implantação e manutenção em 4,5 anos Bianchini (2008) encontrou valores de R\$ 2.893,95 ha⁻¹.

Tabela 22: Custo de implantação e manutenção da floresta aos 36 meses.

| Tratamentos | Espaçamentos | Custo de Implantação US\$/ha | Custo de Manut. (ano) US\$/ha | | | Total US\$/ha |
|---------------|---------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1, 6, 11, 16 | 3,0 m x 2,0 m | 1,101.37 | 370.65 | 380.98 | 353.00 | 2,206.00 |
| 2, 7, 12, 17 | 3,0 m x 1,0 m | 1,684.78 | 370.65 | 380.98 | 353.00 | 2,789.41 |
| 3, 8, 13, 18 | 3,0 m x 0,5 m | 2,832.86 | 370.65 | 380.98 | 353.00 | 3,937.49 |
| 4, 9, 14, 19 | 1,5 m x 1,0 m | 2,997.82 | 370.65 | 380.98 | 353.00 | 4,102.45 |
| 5, 10, 15, 20 | 1,5 m x 2,0 m | 1,849.75 | 370.65 | 380.98 | 353.00 | 2,954.38 |

De acordo com os resultados, (Tabela 23) observa-se que todos VPLs (Valor Presente Líquido) são negativos e estão situados entre US\$ 2,200.83 (T4) e US\$ 146.36 (T11). Desta forma, entende-se que pela análise deste indicador, nenhum dos 20 Tratamentos observados apresentou viabilidade econômica e não recuperam o investimento inicial.

Ao analisar a TIR, constatou-se que todos os tratamentos não apresentaram percentuais de atratividade econômica. O tratamento que mais se aproximou da taxa de desconto utilizada, foi o tratamento T11 (5,15%), contudo esse apresenta uma rentabilidade de aproximadamente 42,0% inferior às taxas do mercado financeiro. Portanto, todos os tratamentos devem ser rejeitados, pois de acordo com Gitman (2012) essa será a taxa de retorno anual composta que a empresa obterá, se investir num determinado projeto com recebimento das entradas de caixa previstas.

O indicador Valor Esperado da Terra (VET) apresentou valores positivos somente nos tratamentos T1, T6, T7, T11, T12, T15, T16 e T17, porém os valores obtidos não remuneraram o capital ao longo dos três anos da floresta. Os tratamentos mais adensados (Tratamentos 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18 e 19) apresentaram por este critério econômico como os mais inviáveis. Sartori (2013) comparando os resultados obtidos com o valor real da terra da região de Bofete, Estado de São Paulo, em novembro de 2012, afirma que os resultados não foram satisfatórios, independentemente da estratégia de produção de madeira e que esse contexto pode ser um indicativo de que as terras do Estado de São Paulo já estão com valores de comercialização elevados para os atuais retornos econômicos de reflorestamentos com eucaliptos, confirmando a necessidade de manejos diferenciados de modo a se obter produtos com maior valor agregado.

Tabela 23: Resultado da análise econômica dos tratamentos aos 36 meses.

| Tratamentos | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | VPL | TIR | VET |
|-------------|---|------------|----------|------------|
| T1 | 153,7 | (526.18) | (6,00%) | 1,056.95 |
| T2 | 176,0 | (890.73) | (9,75%) | (543.23) |
| T3 | 205,3 | (1,751.24) | (16,06%) | (4,320.46) |
| T4 | 176,3 | (2,200.83) | (22,90%) | (6,293.91) |
| T5 | 163,4 | (1,179.36) | (15,08%) | (1,810.16) |
| T6 | 141,8 | (642.97) | (9,91%) | 544.30 |
| T7 | 229,9 | (361.73) | 2,11% | 1,778.80 |
| T8 | 187,7 | (1,923.98) | (19,38%) | (1,157.01) |

Tabela 23: Resultado da análise econômica dos tratamentos aos 36 meses (Continuação) .

| Tratamentos | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | VPL | TIR | VET |
|-------------|---|------------|----------|------------|
| T9 | 190,2 | (1,966.65) | (19,43%) | (5,265.98) |
| T10 | 198,7 | (832.91) | (6,83%) | (289.42) |
| T11 | 192,4 | (146.36) | 5,18% | 2,724.17 |
| T12 | 241,6 | (246.90) | 4,38% | 2,282.85 |
| T13 | 275,5 | (1,062,27) | (4,73%) | (1,296.21) |
| T14 | 220,8 | (1,764.08) | (14,73%) | (4,376.82) |
| T15 | 229,7 | (528.66) | (0,53%) | 1,046.08 |
| T16 | 167,6 | (389.76) | (1,74%) | 1,655.77 |
| T17 | 206,7 | (589.43) | (2,69%) | 779.34 |
| T18 | 217,2 | (1,634.45) | (13,95%) | (3,807.80) |
| T19 | 250,7 | (1,470.63) | (9,94%) | (3,088.72) |
| T20 | 202,5 | (795.61) | (6,02%) | (125.71) |

Os valores obtidos com a comercialização da madeira foram aferidos multiplicando-se o volume da madeira com casca (m³ ha⁻¹) pelo preço médio pago no mercado regional (US\$ 19.64 m⁻³). O tratamento 13 apresentou o maior faturamento (US\$ 5,410,52) porém pelos indicadores econômicos (VPL, TIR e VET) apresenta-se inviável economicamente. Quando se analisa o faturamento levando-se em consideração os materiais genéticos, observa-se que os tratamentos menos adensados (1, 6, 11 e 16) de cada material genético apresentaram os menores índices de faturamento (Tabela 24).

Tabela 24: Faturamento com a venda madeira em US\$.

| Tratamentos | Materiais Genéticos | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | Preço da Madeira US\$ m ³ | Preço Total da Madeira – US\$ |
|-------------|---------------------|---|---|-------------------------------|
| T1 | I | 153,7 | 19.64 | 3,018.67 |
| T2 | I | 176,0 | 19.64 | 3,456.64 |
| T3 | I | 205,3 | 19.64 | 4,032.09 |
| T4 | I | 176,3 | 19.64 | 3,462.53 |
| T5 | I | 163,4 | 19.64 | 3,209.18 |
| T6 | II | 141,8 | 19.64 | 2,784.95 |
| T7 | II | 229,9 | 19.64 | 4,515.24 |
| T8 | II | 187,7 | 19.64 | 3,686.43 |
| T9 | II | 190,2 | 19.64 | 3,735.53 |
| T10 | II | 198,7 | 19.64 | 3,902.47 |
| T11 | III | 192,4 | 19.64 | 3,778.74 |
| T12 | III | 241,6 | 19.64 | 4,745.02 |

Tabela 24: Faturamento com a venda madeira em US\$ (Continuação).

| Tratamentos | Materiais Genéticos | Volume cc (m ³ ha ⁻¹) | Preço da Madeira US\$ m ³ | Preço Total da Madeira – US\$ |
|-------------|---------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------|
| T13 | III | 275,5 | 19.64 | 5,410.82 |
| T14 | III | 220,8 | 19.64 | 4,336.51 |
| T15 | III | 229,7 | 19.64 | 4,511.31 |
| T16 | IV | 167,6 | 19.64 | 3,291,66 |
| T17 | IV | 206,7 | 19.64 | 4,059.59 |
| T18 | IV | 217,2 | 19.64 | 4,265.81 |
| T19 | IV | 250,7 | 19.64 | 4,923.75 |
| T20 | IV | 202,5 | 19.64 | 3,977,10 |

Em todos os indicadores econômicos os tratamentos com maior densidade de plantio (Tratamentos 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18 e 19) apesar de produzirem maior volume de madeira, apresentam-se como os mais inviáveis economicamente, sendo que esses valores são influenciados pelo custo das mudas de *Eucalyptus spp.* que representam até 39,54% do custo total de implantação da floresta, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Influência do custo da mudas sobre o custo total de implantação da floresta.

| Tratamentos | Custo de Implantação (U\$\$) | Custo das Mudanças (U\$\$) | Custo das Mudanças/ Custo Total (%) |
|---------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1, 6, 11, 16 | 1,101.37 | 280.13 | 25,43 |
| 2, 7, 12, 17 | 1,684.78 | 560.12 | 33,25 |
| 3, 8, 13, 18 | 2,832.86 | 1,120.19 | 39,54 |
| 4, 9, 14, 19 | 2,997.82 | 1,120.19 | 37,37 |
| 5, 10, 15, 10 | 1,849.75 | 560.12 | 30,28 |

Outro fator que merece ser discutido e que influenciou na inviabilidade dos projetos (tratamentos), diz respeito à diferença no ao preço da terra no Estado de São Paulo. Segundo Rezende e Oliveira (1993), em se tratando de projetos florestais, deve-se considerar a terra como capital básico de alto investimento e de relativa permanência na base de ativos do investidor, portanto de reconhecida relevância na relação dos custos de um projeto florestal. Segundo o Instituto de Economia Agrícola, em junho de 2013, os preços do hectare de terra para reflorestamento no Estado de São Paulo, variavam de R\$ 2.723,52 na região de Tupã para R\$ 20.661,16 na região de Mogi-Mirim, sendo que na região de Bauru, os preços encontravam-se na faixa de R\$ 7.712,90. Esses

valores convertidos pela cotação do dólar em primeiro de agosto de 2013, utilizados na elaboração da planilha de custos de implantação e manutenção do experimento apontam valores que variam de US\$ 1,188.58 (Tupã-SP) a US\$ 9,016.83 (Mogi-Mirim-SP), com o hectare de terra, na região de Bauru, custando US\$ 3,366.02.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitiu as seguintes conclusões:

Os diferentes espaçamentos influenciaram no desenvolvimento em diâmetro, altura e na porcentagem de sobrevivência das plantas, proporcionando diferenças no volume de madeira produzido.

Nos espaçamentos mais adensados, os clones responderam de forma diferente a retangularidade. Os clones I e III apresentaram maior produção de madeira nos tratamentos de maior retangularidade e com os Clones II e IV ocorreu o inverso.

Com relação à qualidade da madeira, a densidade básica foi influenciada pelos materiais genéticos (clones), a porcentagem de casca não foi influenciada pelos clones e nem pelos espaçamentos, sendo que o poder calorífico superior apresentou variação, em função dos diferentes materiais genéticos, tanto para o lenho, quanto para a casca.

Em função do alto custo de implantação da floresta, ocasionado principalmente pelo preço da terra na região de Bauru e pelo custo das mudas de *Eucalyptus spp* nos tratamentos mais adensados, todos os tratamentos testados mostraram-se inviáveis pelos indicadores econômicos VPL, TIR e VET.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na continuidade dessa linha de pesquisa, sugere-se:

Um acompanhamento dos fatores que influenciam na produtividade da floresta, como por exemplo, a relação das taxas de sobrevivência com as estações do ano; a ciclagem de nutrientes pela serapilheira e as profundidades de deslocamento dos nutrientes ciclados e oriundos da matéria orgânica.

O acompanhamento da viabilidade econômica atrelada a produção e a comercialização de biomassa produzida e/ou energia gerada, visto que houve diferenças na densidade da madeira e no poder calorífico superior influenciados pelos materiais genéticos.

A análise dos custos de produção e da viabilidade econômica ao longo de ciclos sucessivos em regime de talhadia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012/ ABRAF**. Brasília, 2013.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: ANEEL, 2008, 153p.

ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de polpa celulósica relacionada à precocidade na seleção de um Híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ALZATE, S. B. A. et al. **Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Smith. e *E. grandis* x *urophylla* Longitudinal**. SCIENTIA FORESTALIS n. 68, p.87-95, ago. 2005.

ASSIS, R.L. de et al. **Produção de bioamassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. Revista Árvore, Viçosa, v. 23, n.2, p151-156, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico**, 1984.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **Espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>>. Acesso em: 22out. 2013a.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das taxas de juros**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>. Acesso em: 21 out. 2013b.

BARBOSA, V. C.; BREITSCHAFT, A. M. S. **Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 28, n. 1, p.115-122, 2006.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Variações das características da madeira de *Eucalyptus grandis* e suas e suas correlações com a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina da madeira**. IPEF, Piracicaba, v.5, n.14, p.19-28, 1977.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. Santa Maria, 2000. 110p. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

BERGER, R. et al. **Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith**. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BERNARDO, A.L. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de três espécies de *Eucalyptus spp* sob diferentes densidades populacionais na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa, 1995. 88p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

BIANQUINI, L. A. **Análise de custo e receita de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidos a dois regimes de manejo: estudo de caso em propriedade rural na zona da mata mineira**. 2008. 40 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

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

BOTELHO, S. A. **Espaçamento**. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. P. 381-405.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia Produtiva de Madeira**. Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2012 – Ano Base 2011**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 05 de fev. 2013.

CARMO, F. C. A. et al. **Análise de custos da implantação de cultivos de eucalipto em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo**. Cerne, v. 17, n. 4, p. 473-479, 2011.

CARPANEZZI, A.A., KINJO, T. & POGGIANI, F. 1975. **Estudos Básicos sobre a Ecologia da Floresta Tropical Latifoliada Semidecídua e Formações Anexas na Região de Lençóis Paulista, Estado de São Paulo**. Relatório de Pesquisa. ESALQ-USP, Piracicaba.

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis x urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CASTRO, R. V. O. et al. **Avaliação econômica de um povoamento de eucalipto desbastado e destinado a multiprodutos da madeira.** Scientia Forestalis , v. 39, n. 91, p. 351-357, 2011.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

CLEMENTE, L. **Avaliação dos resultados financeiros e riscos associados de uma típica usina de co-geração sucro-alcooleira.** 2003. 81p. (Especialização em Planejamento, Operação e Comercialização na Indústria de Energia Elétrica) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

COELHO JÚNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; BORGES, L. A. C.; SOUZA, A. N. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, 2008.

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

COSTA, V. E.; REZENDE, M. A. **Produtividade de reflorestamentos de seminal, clone e híbrido de *Eucalyptus grandis X E. urophylla* na região de Botucatu, SP.** Revista Energia na Agricultura. vol. 23, n.2, p.115-128, 2008.

COSTA, D. J. A. V **Aplicação de conceitos da análise econômica financeira de investimentos em uma cafeteria.** 2012. 20p. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Empresarial, Nível de Especialização) - Fundação Getúlio Vargas, Maceió, 2012.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. **Florestas energéticas no Brasil.** In: CORTEZ, L. A. B. et al; Biomassa para energia. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. p. 93-110.

FAO. **Estado de La información forestal em Brasil.** Santiago, 2002.

FARO, C. de. **Elementos de engenharia econômica.** 3. Ed. São Paulo: Atlas, 1979. 328 p.

FERREIRA, J. C.; et al. **Influência do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de árvores de *Pinus Taeda*.** In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 2007, Belo Horizonte-MG.

FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia.** 1992. 82f. (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Lavras, Lavras, MG, 1992.

FERREIRA, M. **Melhoramento e cultura intensiva clonal.** IPEF, Piracicaba, n. 45, p. 22-30, jan./dez. 1992.

FIEDLER, N. C. et. al. **Viabilidade técnica e econômica de plantios comerciais em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo.** *Ciência Florestal*, v.21, n.4, p.745-753, 2011.

FOEKEL, C. E. B. **A energia pode ser renovável, mas o modelo é sustentável?** *Revista Opiniões*, n.2012. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel.** *Eucalyptus online*. 2005. cap. 01. 109 p. 2005. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

GARCIA, C. H. et al. **Comportamento florestal de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos.** Piracicaba: IPEF, Piracicaba, 1991. 8 p. (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 a colheita precoce para a utilização em bioenergia.** Botucatu, SP: UNESP, 2010, 114p. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista, 2010.

GARLIPP, R. **Eucalipto: mitos e verdades.** In: SEMINÁRIO DE FLORESTAS PLANTADAS, 2007, Campo Grande. Anais... Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/secure/PalestraCampoGrande-EucaliptoMitoseVerdades.pdf//>>. Acesso em: 5 jan. 2013.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** 12 ed. Pearson: São Paulo, 2012. 775p.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais.** 1994. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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.

INSTITUTO DE ECONOMICA AGRÍCOLA. **Valor de terra nua.** Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precors.aspx?cod_tipo=1&cod_sis=8>. Acesso em: 24 out. 2013.

IPMET. **Precipitação acumulada.** IPMET. Bauru-SP. Disponível em: <http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/estacao/historico.php> Acessado em 10/10/2013.

KRUG, T. **Florestas energéticas: uma reflexão.** *Revista Opiniões*, jun-ago, 2008. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br>. Acesso em: 23 de março de 2013.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp.*, sob três diferentes espaçamentos, em uma sequencia de idades.** 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

LADEIRA, B. C. et al. **Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma sequência de idade.** *Revista Árvore*, Viçosa, MG; v.25, n. 1, p.69-78, jan/mar. 2001.

LEITE, F.P. et al. **Crescimento de *E. grandis* em diferentes densidades populacionais.** *Revista Árvore*, Viçosa, v.2, n.3, p.313-321, 1997.

LELES, P.P.S. et al. **Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E.camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG.** *Scientia Forestalis*, n.59, 2001, p.77-87.

LIMA, E. A. et al. **Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira** Colombo, PR: Comunicado Técnico 220, Embrapa Floresta, Colombo/Pr, 2008.

MACEDO, I.C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2003, 90p.

MACEDO, R. L. G. et al. **Potencial de estabelecimento de clones de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (seringueira) introduzidos em sistemas agroflorestal com *Bertholletia excelsa* Humb & Bompl (castanheira do Brasil).** In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 2000, Porto Seguro-BA, Anais... Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. P. 159-161.

MALINOVSKI, R. A. et al. **Viabilidade econômica de reflorestamentos em áreas limítrofes de pequenas propriedades rurais no município de São José dos Pinhais-Pr.** *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, mai./ago. 2006.

MEGLIORINI, E.; VALLIM, M. A. **Administração Financeira: uma abordagem brasileira.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MELLIDO, R. C. N. **Avaliação técnica e econômica de dois projetos florestais com eucalipto para fins energéticos.** 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais.** 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras Lavras, 2006.

MOREIRA, J. M. M. A. P. **Potencial e participação das florestas na matriz energética.** Pesquisa Florestal Brasileira, v.31, n. 68, p.363-372, abr/jun. 2011.

MÜLLER, M. D.; **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** Viçosa, MG: UFV, 2005, 94p. (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MULLER, M. D.; COUTO, L. **Avaliação de densidade de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa.** Viçosa, MG: Renabio, 2006.

MULLER DA SILVA, P. H. et al. **Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros.** Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, mar. 2008.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentária e viabilidade econômica.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 1987. 269p.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. **Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores.** Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

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

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

PATIÑO VALERA, F.; KAGEYAMA P.Y. **Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith.** , n. 39, p. 5-16, 1988.

PAVAN, J. A. et al. **Viabilidade econômica da produção de Eucaliptos no Rio Grande do Sul.** ABCustos , v. V, n.1, p. 1-32, 2010.

PEREIRA JÚNIOR, V. B. **Alternativas para a co-geração de energia de uma indústria de chapas de fibra de madeira.** 2001. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /

Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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

POLLI et al. **Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.557-566, 2006.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O eucalipto: um século no Brasil.** São Paulo: Antonio Bellini, 2007. 132 p.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **A celulose de eucalipto: uma oportunidade brasileira.** Vinhedo: Avis Brasilis, 2008. 156 p.

QUIRINO, W. F. **Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos.** Revista da Madeira n. 89, p. 100-106, abr. 2005.

RAPASSI, R. M. A. et. al. **Cultura do eucalipto na região de Suzanápolis: análise econômica.** Informações Econômicas, v. 38, n. 4, p. 8-13, 2008.

RAMAGE, J; SCURLOCK, J. **Biomass.** In: BOYLE, G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. New York: Oxford University Press, 1996.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Avaliação de projetos florestais.** Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1993. 47 p.

REVISTA DA MADEIRA. **Melhoramento genético: melhoramento genético para a qualidade da madeira.** Revista da Madeira, n. 75, 2003. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=403&subject=Melhoramento. Acesso em: 6 jan. 2013.

REVISTA DA MADEIRA. **Cenário florestal: florestas no mundo chegam 4 bilhões de hectares.** Revista da Madeira, São Paulo, n. 126, 2011. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php? Acesso em: 6 jan. 2013.

ROGERO, M. et al. **Poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus urograndis*.** In: SIICUSP Simpósio Internacional de Iniciação Científica, 21 a 25 de Novembro de 2011. Piracicaba/SP

ROSSI, D. T. **Influência das camadas de crescimento na densidade da madeira de clones de *Eucalyptus*.** 2007. 88 f. Relatório (Iniciação Científica)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

RUY, O.F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia.** 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTANA, W. M. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético.** 2009. 91f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n.º 11.241, dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da CANA-de-açúcar e dá outras providências.** 19 de setembro de 2002.

SÃO PAULO (Estado). **Valor de terra nua no ano de 2012.** São Paulo: Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo, 2013. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nial/precior.aspx?cod_tipo=1&cod_sis=8> Acesso em: 25 de setembro de 2013.

SANTIAGO, F. L. S. **Aproveitamento de resíduos florestais de eucalyptus spp na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica.** 2013. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.** 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SARTORI, M. S. **Proposta de otimização para reflorestamento de eucalipto utilizando multiprodutos.** 2013. 70f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M. **Crescimento da Acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild, em diferentes espaçamentos.** Ciência Florestal, v.10, n.2, 2000, p.101-112.

SCOLFORO, J. R. **O mundo eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura.** Rio de Janeiro: Mar de Ideias, 2008. v. 1, 72 p.

SEREGHETTI, G. C. **biomassa inicial do híbrido *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos.** 2012. 41f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SETTE JR, C. R., et al. **Sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* pelo uso de dendrômetros.** Revista Florestal. v. 22, n. 4, 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, ago. 1989.

SILVA, A. M. N da; et al. **A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos da cidade de Tracunhaém/Pe.** Custos e @gronegocio on line - v. 4, n. 3 - Set/Dez - 2008.

SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo.** 2005. 50 f. (Dissertação em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, J. C.; RECH, C. **O eucalipto e suas origens.** Revista da Madeira, São Paulo, v. 59, p. 10-12 set. 2001.

SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos.** 1990. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

SILVA, J. M. S. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas.** 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra.** Revista Árvore, vol.29 nº6 Viçosa. 2005.

SILVA, R. P. **Simulação e avaliação econômica de um programa plurianual de reflorestamento para fins de planejamento da empresa florestal.** 56p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. **Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill exMaiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.

SOUZA. A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos - fundamentos, técnicas e aplicações.** 3ª ed. São Paulo: Atlas. 1999. 142 p.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais.** 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

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: *Eucalyptus in a changing world.* Proc. IUFRO, Aveiro, 2004, p.25-27.

STURION, J. A. et al. **Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 14, p.28-38, jun. 1987.

VALE, A. B. et al. **Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal.** Viçosa: SIF, 1982. 20p.

VALE, A. T.; et al. **Disponibilidade de energia na forma de calor da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília.** In: 3º Encontro de Energia Rural, AGRENER, 2000. Campinas - SP.

VITAL, B. R. et al. **Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 30 meses de idade.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 210-217, 1981.

APÊNDICES

Apêndice 1.

Dados médios de temperatura e pluviosidade dos últimos 30 anos do município de Borebi/SP.

| MÊS | TEMPERATURA DO AR (°C) | | | CHUVA (mm) |
|------------|-------------------------------|--------------|---------------|-------------------|
| | mínima | média | máxima | |
| JAN | 18.7 | 30.0 | 24.3 | 212.8 |
| FEV | 18.9 | 30.1 | 24.5 | 190.9 |
| MAR | 18.1 | 29.7 | 23.9 | 153.0 |
| ABR | 15.5 | 28.0 | 21.8 | 72.6 |
| MAI | 12.8 | 26.1 | 19.4 | 75.7 |
| JUN | 11.3 | 24.9 | 18.1 | 61.1 |
| JUL | 10.8 | 25.2 | 18.0 | 37.6 |
| AGO | 12.2 | 27.3 | 19.7 | 35.4 |
| SET | 14.2 | 28.3 | 21.2 | 78.8 |
| OUT | 15.8 | 28.8 | 22.3 | 111.0 |
| NOV | 16.7 | 29.3 | 23.0 | 125.9 |
| DEZ | 18.0 | 29.3 | 23.6 | 200.9 |
| Ano | 15.3 | 28.1 | 21.6 | 1355.7 |
| Min | 10.8 | 24.9 | 18.0 | 35.4 |
| Max | 18.9 | 30.1 | 24.5 | 212.8 |

Fonte: Cepagri, 2013.

Apêndice 2.

Resultado das análises de solo dos Macronutrientes, PH e Matéria Orgânica da área experimental (pré-plantio).

| Classe | P resina | Al | S-SO ₄ ²⁻ | K | Ca | Mg | pH | V% | Metodologia de Análises |
|----------|------------|-----|--|-----------|-------------------|-------|-------------------|---------|---|
| Teores | Florestais | KCl | Ca(H ₂ PO ₄) ₂ | Resina | trocadora de íons | | CaCl ₂ | | |
| M. Baixo | 0 - 2 | | | 0,0 - 0,7 | | | Até - 4,3 | 0 - 25 | Análise Química para Avaliação de Fertilidade de Solos Tropicais Raij et al. (2001) IAC. 285 p. |
| Baixo | 3 - 5 | < 5 | 0 - 4 | 0,8 - 1,5 | 0 - 3 | 0 - 4 | 4,4 - 5,0 | 26 - 50 | |
| Médio | 6 - 10 | | 5 - 10 | 1,6 - 3,0 | 4 - 7 | 5 - 8 | 5,1 - 5,5 | 51 - 70 | |
| Alto | 10 - 20 | > 5 | >10 | 3,1 - 6,0 | >7 | >8 | 5,6 - 6,0 | 71 - 90 | |
| M. Alto | > 20 | | | >6,0 | | | >6,0 | >90 | |

| Profundidade (cm). | pH | M.O. | P _{resina} | Al ³⁺ | H+Al | K | Ca | Mg | SB | CTC | V% | S |
|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---|------|-----|----|----|----|-----|--------------------|---|
| | CaCl ₂ | g/dm ³ | mg/dm ³ | -----mmol _c /dm ³ ----- | | | | | | | mg/dm ³ | |
| 0-20 | 4,5 | 9 | 4 | 2 | 23 | 0,7 | 12 | 5 | 17 | 40 | 43 | 2 |
| 20-40 | 4,5 | 7 | 2 | 2 | 22 | 0,7 | 14 | 4 | 19 | 41 | 46 | 3 |

Apêndice 3.

Resultado das análises de solo dos Macronutrientes, PH e Matéria Orgânica dos 20 tratamentos aos 36 meses – profundidade de 0-20 cm.

| Classe Teores | P resina Florestais | Al KC l | S-SO ₄ ²⁻ Ca(H ₂ PO ₄) ₂ | K Resina | Ca trocadora de íons | Mg | pH CaCl ₂ | V% | Metodologia de Análises |
|---------------|---------------------|---------|--|-----------|----------------------|-------|----------------------|---------|---|
| | | | | | | | | | |
| M. Baixo | 0 - 2 | | | 0,0 - 0,7 | | | Até - 4,3 | 0 - 25 | Análise Química para Avaliação de Fertilidade de Solos Tropicais Raij et al. (2001) IAC. 285 p. |
| Baixo | 3 - 5 | < 5 | 0 - 4 | 0,8 - 1,5 | 0 - 3 | 0 - 4 | 4,4 - 5,0 | 26 - 50 | |
| Médio | 6 - 10 | | 5 - 10 | 1,6 - 3,0 | 4 - 7 | 5 - 8 | 5,1 - 5,5 | 51 - 70 | |
| Alto | 10 - 20 | > 5 | >10 | 3,1 - 6,0 | >7 | >8 | 5,6 - 6,0 | 71 - 90 | |
| M. Alto | > 20 | | | >6,0 | | | >6,0 | >90 | |

| Trat. | pH | M.O. | P _{resina} | Al ³⁺ | H+Al | K | Ca | Mg | SB | CTC | V% | S |
|-------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|------|-----|----|----|----|-----|----|--------------------|
| | CaCl ₂ | g/dm ³ | mg/dm ³ | -----mmol/dm ³ ----- | | | | | | | | mg/dm ³ |
| 1 | 4,2 | 9 | 4 | 4 | 27 | 0,4 | 4 | 3 | 7 | 34 | 21 | 2 |
| 2 | 4,3 | 8 | 2 | 5 | 27 | 0,3 | 6 | 3 | 9 | 37 | 26 | 3 |
| 3 | 4,1 | 9 | 2 | 7 | 34 | 0,4 | 3 | 4 | 7 | 41 | 18 | 3 |
| 4 | 4,1 | 8 | 5 | 6 | 30 | 0,4 | 4 | 3 | 7 | 37 | 19 | 2 |
| 5 | 4,0 | 7 | 4 | 8 | 35 | 0,2 | 2 | 2 | 4 | 38 | 10 | 2 |
| 6 | 4,2 | 8 | 1 | 4 | 29 | 0,3 | 4 | 4 | 9 | 37 | 23 | 3 |
| 7 | 4,3 | 10 | 1 | 4 | 29 | 0,6 | 6 | 4 | 11 | 39 | 27 | 2 |
| 8 | 4,2 | 8 | 1 | 5 | 29 | 0,5 | 6 | 4 | 10 | 39 | 26 | 2 |
| 9 | 3,9 | 9 | 3 | 9 | 39 | 0,6 | 2 | 2 | 5 | 44 | 11 | 2 |
| 10 | 4,2 | 8 | 4 | 4 | 23 | 0,7 | 5 | 4 | 10 | 33 | 30 | 3 |
| 11 | 4,0 | 8 | 2 | 12 | 34 | 0,7 | 2 | 2 | 5 | 38 | 13 | 3 |
| 12 | 4,3 | 8 | 1 | 5 | 26 | 0,3 | 6 | 6 | 12 | 38 | 32 | 3 |
| 13 | 4,0 | 9 | 2 | 7 | 31 | 0,6 | 4 | 2 | 7 | 38 | 18 | 3 |
| 14 | 4,1 | 8 | 1 | 7 | 35 | 0,5 | 2 | 2 | 4 | 39 | 11 | 2 |
| 15 | 4,3 | 8 | 4 | 3 | 24 | 0,5 | 10 | 4 | 15 | 38 | 38 | 2 |
| 16 | 4,1 | 11 | 1 | 6 | 33 | 0,3 | 6 | 4 | 11 | 43 | 25 | 3 |
| 17 | 4,2 | 12 | 1 | 5 | 36 | 0,4 | 6 | 6 | 12 | 48 | 26 | 3 |
| 18 | 4,1 | 10 | 5 | 5 | 28 | 0,6 | 5 | 3 | 9 | 37 | 23 | 2 |
| 19 | 4,0 | 8 | 4 | 8 | 33 | 0,6 | 2 | 2 | 4 | 37 | 12 | 3 |
| 20 | 4,4 | 8 | 1 | 2 | 24 | 0,6 | 8 | 4 | 13 | 37 | 35 | 2 |

Apêndice 4.

Resultado das análises de solo dos Macronutrientes, PH e Matéria Orgânica dos 20 tratamentos aos 36 meses – profundidade de 20-40 cm.

| Classe Teores | P resina Florestais | Al KC l | S-SO ₄ ²⁻ Ca(H ₂ PO ₄) ₂ | K Resina | Ca trocadora de ions | Mg | pH CaCl ₂ | V% | Metodologia de Análises |
|------------------|------------------------|------------|---|-------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------|---|
| | | | | | | | | | |
| M. Baixo | 0 - 2 | | | 0,0 - 0,7 | | | Até - 4,3 | 0 - 25 | Análise Química para Avaliação de Fertilidade de Solos Tropicais Raij et al. (2001) IAC. 285 p. |
| Baixo | 3 - 5 | < 5 | 0 - 4 | 0,8 - 1,5 | 0 - 3 | 0 - 4 | 4,4 - 5,0 | 26 - 50 | |
| Médio | 6 - 10 | | 5 - 10 | 1,6 - 3,0 | 4 - 7 | 5 - 8 | 5,1 - 5,5 | 51 - 70 | |
| Alto | 10 - 20 | > 5 | >10 | 3,1 - 6,0 | >7 | >8 | 5,6 - 6,0 | 71 - 90 | |
| M. Alto | > 20 | | | >6,0 | | | >6,0 | >90 | |

| Trat. | pH CaCl ₂ | M.O. g/dm ³ | P _{resina} mg/dm ³ | Al ³⁺ | H+Al | K | Ca | Mg | SB | CTC | V% | S mg/dm ³ |
|-------|-------------------------|---------------------------|---|------------------|------|-----|----|----|----|-----|----|-------------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4,3 | 7 | 3 | 2 | 21 | 0,5 | 9 | 3 | 13 | 34 | 37 | 3 |
| 2 | 4,0 | 9 | 3 | 7 | 35 | 0,5 | 5 | 2 | 7 | 43 | 17 | 2 |
| 3 | 4,2 | 7 | 1 | 4 | 25 | 0,3 | 5 | 3 | 8 | 34 | 25 | 2 |
| 4 | 4,0 | 7 | 1 | 8 | 30 | 0,4 | 2 | 2 | 4 | 34 | 11 | 3 |
| 5 | 4,0 | 8 | 1 | 9 | 39 | 0,5 | 3 | 1 | 5 | 44 | 11 | 2 |
| 6 | 4,2 | 7 | 1 | 5 | 28 | 0,3 | 5 | 2 | 7 | 36 | 21 | 2 |
| 7 | 4,3 | 7 | 2 | 2 | 22 | 0,4 | 10 | 4 | 14 | 37 | 39 | 3 |
| 8 | 4,4 | 7 | 4 | 2 | 21 | 0,5 | 14 | 4 | 18 | 39 | 47 | 3 |
| 9 | 3,9 | 9 | 3 | 9 | 36 | 0,5 | 3 | 2 | 5 | 41 | 13 | 3 |
| 10 | 4,5 | 7 | 3 | 1 | 19 | 0,7 | 11 | 4 | 16 | 35 | 45 | 3 |
| 11 | 4,0 | 7 | 3 | 8 | 34 | 0,5 | 2 | 1 | 4 | 38 | 10 | 2 |
| 12 | 5,9 | 8 | 3 | 0 | 11 | 0,2 | 38 | 30 | 69 | 80 | 86 | 3 |
| 13 | 4,1 | 9 | 3 | 6 | 30 | 0,3 | 4 | 2 | 6 | 36 | 16 | 3 |
| 14 | 4,0 | 7 | 3 | 8 | 30 | 0,5 | 2 | 2 | 4 | 34 | 12 | 3 |
| 15 | 4,5 | 8 | 4 | 1 | 21 | 0,5 | 15 | 4 | 20 | 41 | 48 | 3 |
| 16 | 4,4 | 8 | 4 | 5 | 28 | 0,3 | 6 | 4 | 10 | 38 | 26 | 2 |
| 17 | 4,5 | 10 | 4 | 1 | 23 | 0,3 | 12 | 5 | 18 | 41 | 44 | 2 |
| 18 | 4,4 | 8 | 1 | 2 | 23 | 0,5 | 12 | 4 | 16 | 39 | 41 | 3 |
| 19 | 3,9 | 8 | 4 | 7 | 30 | 0,5 | 4 | 2 | 6 | 36 | 17 | 2 |
| 20 | 4,2 | 6 | 3 | 5 | 24 | 0,3 | 5 | 2 | 8 | 32 | 24 | 2 |

Apêndice 5.

Resultado das análises de solo dos Micronutrientes da área experimental (pré-plantio) nas profundidades de 0-20 e 20-40cm.

| Classe | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------------------------|-------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | Àgua quente | DTPA | DTPA | DTPA | DTPA |
| -----mg/dm ³ ----- | | | | | |
| Baixo | 0,0 - 0,20 | 0,0 - 0,2 | 0 - 4 | 0,0 - 1,2 | 0,0 - 0,5 |
| Médio | 0,21 - 0,60 | 0,3 - 0,8 | 5 - 12 | 1,3 - 5,0 | 0,6 - 1,2 |
| Alto | >0,60 | >0,8 | >12 | >5,0 | >1,2 |

| PROFUNDIDADE (CM) | BORO | COBRE | FERRO | MANGANÊS | ZINCO |
|-------------------------------|------|-------|-------|----------|-------|
| -----mg/dm ³ ----- | | | | | |
| 0-20 | 0,66 | 1,0 | 37 | 0,5 | 0,2 |
| 20-40 | 0,34 | 0,6 | 19 | 0,2 | 0,1 |

Apêndice 6.

Resultado das análises de solo dos Micronutrientes dos 20 tratamentos aos 36 meses – profundidade de 0-20 cm.

| Classe | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------------------------|-------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | Àgua quente | DTPA | DTPA | DTPA | DTPA |
| -----mg/dm ³ ----- | | | | | |
| Baixo | 0,0 - 0,20 | 0,0 - 0,2 | 0 - 4 | 0,0 - 1,2 | 0,0 - 0,5 |
| Médio | 0,21 - 0,60 | 0,3 - 0,8 | 5 - 12 | 1,3 - 5,0 | 0,6 - 1,2 |
| Alto | >0,60 | >0,8 | >12 | >5,0 | >1,2 |

| TRATAMENTOS | BORO | COBRE | FERRO | MANGANÊS | ZINCO |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|----------|-------|
| | -----mg/dm ³ ----- | | | | |
| 1 | 0,63 | 0,5 | 43 | 0,5 | 0,2 |
| 2 | 0,30 | 0,6 | 40 | 0,3 | 0,1 |
| 3 | 0,66 | 0,6 | 41 | 0,5 | 0,1 |
| 4 | 0,30 | 0,6 | 45 | 0,4 | 0,1 |
| 5 | 0,51 | 0,5 | 47 | 0,2 | 0,1 |
| 6 | 0,55 | 0,3 | 39 | 0,5 | 0,1 |
| 7 | 0,58 | 0,5 | 48 | 0,8 | 0,1 |
| 8 | 0,42 | 0,4 | 35 | 0,5 | 0,1 |
| 9 | 0,37 | 0,4 | 59 | 0,2 | 0,1 |
| 10 | 0,41 | 0,5 | 44 | 0,4 | 0,1 |
| 11 | 0,36 | 0,5 | 49 | 0,2 | 0,1 |
| 12 | 0,44 | 0,3 | 37 | 0,4 | 0,1 |
| 13 | 0,31 | 0,4 | 51 | 0,3 | 0,1 |
| 14 | 0,45 | 0,5 | 46 | 0,3 | 0,1 |
| 15 | 0,34 | 0,5 | 35 | 0,2 | 0,1 |
| 16 | 0,40 | 0,5 | 59 | 0,6 | 0,2 |
| 17 | 0,77 | 0,5 | 56 | 0,8 | 0,2 |
| 18 | 1,46 | 0,5 | 53 | 0,4 | 0,5 |
| 19 | 0,44 | 0,6 | 56 | 0,3 | 0,3 |
| 20 | 0,42 | 0,5 | 38 | 0,2 | 0,2 |

Apêndice 7.

Resultado das análises de solo dos Micronutrientes dos 20 tratamentos aos 36 meses – profundidade de 20-40 cm.

| Classe | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------------------------|-------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| | Água quente | DTPA | DTPA | DTPA | DTPA |
| -----mg/dm ³ ----- | | | | | |
| Baixo | 0,0 - 0,20 | 0,0 - 0,2 | 0 - 4 | 0,0 - 1,2 | 0,0 - 0,5 |
| Médio | 0,21 - 0,60 | 0,3 - 0,8 | 5 - 12 | 1,3 - 5,0 | 0,6 - 1,2 |
| Alto | >0,60 | >0,8 | >12 | >5,0 | >1,2 |

| TRATAMENTOS | BORO | COBRE | FERRO | MANGANÊS | ZINCO |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|----------|-------|
| | -----mg/dm ³ ----- | | | | |
| 1 | 0,30 | 0,7 | 30 | 0,2 | 0,3 |
| 2 | 0,35 | 0,5 | 51 | 0,2 | 0,1 |
| 3 | 0,51 | 0,8 | 31 | 0,2 | 0,1 |
| 4 | 0,44 | 0,6 | 32 | 0,2 | 0,1 |
| 5 | 0,63 | 0,7 | 40 | 0,3 | 0,1 |
| 6 | 0,40 | 0,7 | 35 | 0,2 | 0,1 |
| 7 | 0,48 | 0,8 | 28 | 0,3 | 0,1 |
| 8 | 0,67 | 0,7 | 26 | 0,3 | 0,1 |
| 9 | 0,36 | 0,9 | 58 | 0,2 | 0,1 |
| 10 | 0,38 | 0,8 | 29 | 0,3 | 0,1 |
| 11 | 1,49 | 0,9 | 40 | 0,3 | 0,2 |
| 12 | 0,27 | 0,6 | 16 | 0,7 | 0,1 |
| 13 | 0,40 | 0,5 | 45 | 0,1 | 0,1 |
| 14 | 0,39 | 0,5 | 48 | 0,3 | 0,1 |
| 15 | 0,38 | 0,6 | 27 | 0,4 | 0,2 |
| 16 | 0,29 | 0,6 | 37 | 0,3 | 0,3 |
| 17 | 0,55 | 0,7 | 32 | 1,1 | 0,1 |
| 18 | 0,35 | 1,2 | 47 | 0,6 | 1,0 |
| 19 | 1,03 | 0,6 | 46 | 0,2 | 0,3 |
| 20 | 0,37 | 0,4 | 34 | 0,2 | 0,1 |

Apêndice 8.

Tratamento 1, 6, 11, 16 - Planilha de aferição do custo de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| PLANILHA DE AFERIÇÃO DE CUSTOS | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------------------|----------------|
| Data da cotação utilizada: 01/08/13 - Taxa: 2,2914 | | | | |
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 20,95 | 10,47 |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 0,70 | 78,55 | 54,99 |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 6,50 | 6,11 | 39,71 |
| Combate à Formiga - I | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 4,00 | 6,11 | 24,44 |
| Adubação de Base | hh ha ⁻¹ | 10,64 | 6,11 | 65,01 |
| Combate à Formiga - II | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 | 6,11 | 42,77 |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 5,70 | 6,11 | 34,83 |
| Adubação de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 10,64 | 6,11 | 65,01 |
| Adubação de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 10,64 | 6,11 | 65,01 |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 | 39,28 | 58,92 |
| Formicida Mirex - Pré-Plantio | kg | 3,50 | 2,09 | 7,33 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio I | kg | 0,50 | 2,09 | 1,05 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio II | kg | 0,50 | 2,09 | 1,05 |
| Glyphosate | L | 3,50 | 12,22 | 42,77 |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 | 497,51 | 149,25 |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 | 414,59 | 103,65 |
| Mudas de Eucalyptus spp. (c/ 10% de replântio) | Un | 1834,00 | 0,15 | 280,13 |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 0,57 | 8,00 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 1,31 | 18,33 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,0 | 2,99 | 2,99 |

Apêndice 9.

Tratamento 2, 7, 12, 17 - Planilha de aferição do custo de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| PLANILHA DE AFERIÇÃO DE CUSTOS | | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------------------|----------------|--|
| Data da cotação utilizada: 01/08/13 - Taxa: 2,2914 | | | | | |
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 20,95 | 10,47 | |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 0,70 | 78,55 | 54,99 | |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 13,00 | 6,11 | 79,43 | |
| Combate à Formiga - (Pós-Plantio) I | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 8,00 | 6,11 | 48,88 | |
| Adubação de Base | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 | |
| Combate à Formiga - (Pós-plantio) II | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 | 6,11 | 42,77 | |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 11,40 | 6,11 | 69,65 | |
| Adubação de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 | |
| Adubação de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 | |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 | 39,28 | 58,92 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pré-Plantio | kg | 7,00 | 2,09 | 14,66 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio I | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio II | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Glifosate | L | 3,50 | 12,22 | 42,77 | |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 | 497,51 | 149,25 | |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 | 414,59 | 103,65 | |
| Mudas de Eucalyptus spp. (c/ 10% de replântio) | Un | 3667 | 0,15 | 560,12 | |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 0,57 | 8,00 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 | |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 1,31 | 18,33 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,0 | 2,99 | 2,99 | |

Apêndice 10.

Tratamento 3, 8, 13, 18 - Planilha de aferição do custo de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| PLANILHA DE AFERIÇÃO DE CUSTOS | | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------------------|----------------|--|
| Data da cotação utilizada: 01/08/13 - Taxa: 2,2914 | | | | | |
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 20,95 | 10,47 | |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 0,70 | 78,55 | 54,99 | |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 26,00 | 6,11 | 158,85 | |
| Combate à Formiga - (Pós-Plantio) I | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 16,00 | 6,11 | 97,76 | |
| Adução de Base | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Combate à Formiga - (Pós-plantio) II | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 | 6,11 | 42,77 | |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 22,80 | 6,11 | 139,30 | |
| Adução de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Adução de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 | 39,28 | 58,92 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pré-Plantio | kg | 7,00 | 2,09 | 14,66 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio I | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio II | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Glifosate | L | 3,50 | 12,22 | 42,77 | |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 | 497,51 | 149,25 | |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 | 414,59 | 103,65 | |
| Mudas de Eucalyptus spp. (c/ 10% de replântio) | Un | 7333,70 | 0,15 | 1120,19 | |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 0,57 | 8,00 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 | |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 1,31 | 18,33 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,0 | 2,99 | 2,99 | |

Apêndice 11.

Tratamento 4, 9, 14, 19 - Planilha de aferição do custo de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| PLANILHA DE AFERIÇÃO DE CUSTOS | | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------------------|----------------|--|
| Data da cotação utilizada: 01/08/13 - Taxa: 2,2914 | | | | | |
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 20,95 | 10,47 | |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 2,80 | 78,55 | 219,95 | |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 26,00 | 6,11 | 158,85 | |
| Combate à Formiga - (Pós-Plantio) I | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 16,00 | 6,11 | 97,76 | |
| Adução de Base | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Combate à Formiga- (Pós-plantio) II | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 | |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 | 6,11 | 42,77 | |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 22,80 | 6,11 | 139,30 | |
| Adução de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Adução de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 42,56 | 6,11 | 260,03 | |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 | 39,28 | 58,92 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pré-Plantio | kg | 7,00 | 2,09 | 14,66 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio I | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio II | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Glifosate | L | 3,50 | 12,22 | 42,77 | |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 | 497,51 | 149,25 | |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 | 414,59 | 103,65 | |
| Mudas de Eucalyptus spp. (c/ 10% de replântio) | Un | 7333,70 | 0,15 | 1.120,19 | |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 0,57 | 8,00 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 | |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) | |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 1,31 | 18,33 | |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 | |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 | |

Apêndice 12.

Tratamento 5, 10, 15, 20 - Planilha de aferição do custo de horas de mão de obra, horas de máquinas e insumos utilizados no experimento até os 36 meses.

| PLANILHA DE AFERIÇÃO DE CUSTOS | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------------------|----------------|
| Data da cotação utilizada: 01/08/13 - Taxa: 2,2914 | | | | |
| Implantação ano 0 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Capina Química Mecânica (Pré-plantio) - Área Total | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 20,95 | 10,47 |
| Combate à Formiga - (Pré-Plantio) | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Sulcagem + Aplicação de Corretivo (Calcário) | hm ha ⁻¹ | 2,80 | 78,55 | 219,95 |
| Plantar/ Irrigar | hh ha ⁻¹ | 13,00 | 6,11 | 79,43 |
| Combate à Formiga - (Pós-Plantio) I | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Replântio | hh ha ⁻¹ | 8,00 | 6,11 | 48,88 |
| Adubação de Base | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 |
| Combate à Formiga- (Pós-plantio) II | hh ha ⁻¹ | 3,00 | 6,11 | 18,33 |
| Capina Química Manual (pré-emergente) | hh ha ⁻¹ | 7,00 | 6,11 | 42,77 |
| Coroamento | hh ha ⁻¹ | 11,40 | 6,11 | 69,65 |
| Adubação de Cobertura I | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 |
| Adubação de Cobertura II | hh ha ⁻¹ | 21,28 | 6,11 | 130,02 |
| Calcário Dolomítico | t | 1,50 | 39,28 | 58,92 |
| Formicida Mirex (500g) - Pré-Plantio | kg | 7,00 | 2,09 | 14,66 |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio I | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Formicida Mirex (500g) - Pós-Plantio II | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Glifosate | L | 3,50 | 12,22 | 42,77 |
| Adubo NPK 06-30-06 | t | 0,30 | 497,51 | 149,25 |
| Adubo NPK 19-00-19 | t | 0,25 | 414,59 | 103,65 |
| Mudas de Eucalyptus spp. (c/ 10% de replântio) | Un | 3667,00 | 0,15 | 560,12 |
| Trato culturais - ano 1 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Combate à Formiga - III | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 0,57 | 8,00 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio III | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 |
| Trato culturais - ano 2 | Unidade | Quantidade | Custo unitário (US\$) | Valores (US\$) |
| Combate Formiga - (Pós-plantio) IV | hh ha ⁻¹ | 14,00 | 1,31 | 18,33 |
| Formicida Mirex - Pós-Plantio IV | kg | 1,00 | 2,09 | 2,09 |
| Capina química mecanizada - entrelinha | hm ha ⁻¹ | 0,50 | 9,14 | 4,57 |
| Capina química mecanizada - entrelinha (insumos) | L | 1,00 | 2,99 | 2,99 |

Apêndice 13.

Análise de Variância da altura das plantas, seis meses após o plantio.

| FV | GL | SQ | QM | F | p-valor |
|--------------|-----------|---------------|-----------|----------|----------------|
| Bloco | 3 | 12,051 | 4,017 | 40,793 | < 0,001 |
| Clone | 3 | 1,579 | 0,526 | 5,345 | 0,002 |
| Espaçamento | 4 | 0,549 | 0,137 | 1,393 | 0,246 |
| Resíduo | 69 | 6,795 | 0,098 | | |
| Total | 79 | 20,974 | | | |

Apêndice 14.

Análise de Variância do diâmetro do colo das plantas, seis meses após o plantio.

| FV | GL | SQ | QM | F | p-valor |
|--------------|-----------|-----------------|-----------|----------|----------------|
| Bloco | 3 | 1767,610 | 589,203 | 44,098 | < 0,001 |
| Clone | 3 | 5,850 | 1,950 | 0,146 | 0,932 |
| Espaçamento | 4 | 1041,630 | 260,408 | 19,490 | < 0,001 |
| Resíduo | 69 | 921,920 | 13,361 | | |
| Total | 79 | 3737,010 | | | |

Apêndice 15.

Análise de Variância da altura das plantas, 12 meses após o plantio.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | P |
|--------------------------|-------------|---------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 3,921 | 1,307 | 4,89 | 0,004166 |
| Espaçamento | 4 | 9,173 | 2,293 | 8,58 | 0,000015 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 1,152 | 0,096 | 0,36 | 0,972570 |
| Resíduo | 60 | 16,038 | 0,267 | | |
| Total | 79 | 30,284 | | | |

Apêndice 16.

Análise de Variância do DAP das plantas, 12 meses após o plantio.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | P |
|--------------------------|-------------|---------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 4,182 | 1,394 | 5,91 | 0,001327 |
| Espaçamento | 4 | 47,408 | 11,852 | 50,28 | 0,000000 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 1,403 | 0,117 | 0,50 | 0,909188 |
| Resíduo | 60 | 14,144 | 0,236 | | |
| Total | 79 | 67,137 | | | |

Apêndice 17.

Análise de Variância da altura das plantas, 24 meses após o plantio.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | P |
|--------------------------|-------------|----------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 540,3 | 180,1 | 7,43 | 0,000059 |
| Espaçamento | 4 | 4765,4 | 1191,3 | 49,18 | 0,000000 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 306,7 | 25,6 | 1,06 | 0,394648 |
| Resíduo | 2816 | 68221,5 | 24,2 | | |
| Total | 2835 | 73833,9 | | | |

Apêndice 18.

Análise de Variância do DAP das plantas, 24 meses após o plantio.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | P |
|--------------------------|-------------|----------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 154,3 | 51,4 | 5,76122 | 0,000633 |
| Espaçamento | 4 | 7453,6 | 1863,4 | 208,676 | 0,000000 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 114,3 | 9,5 | 1,06695 | 0,383962 |
| Resíduo | 2809 | 25083,3 | 8,9 | | |
| Total | 2828 | 32805,5 | | | |

Apêndice 19.

Análise de Variância da altura das plantas, 36 meses após o plantio

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | P |
|--------------------------|-------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 639,14 | 213,05 | 32,20 | 0,0001 |
| Espaçamento | 4 | 3233,91 | 808,47 | 122,20 | 0,0001 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 222,46 | 18,54 | 2,80 | 0,0008 |
| Resíduo | 2270 | 15018,80 | | | |
| Total | 2289 | 19114,31 | | | |

Apêndice 20.

Análise de Variância de Sobrevivência aos 36 meses.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | p |
|--------------------------|-------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| Clone | 3 | 138,438 | 46,146 | 4,9376 | 0,003945 |
| Espaçamento | 4 | 983,450 | 245,863 | 26,3072 | 0,000000 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 122,750 | 10,229 | 1,0945 | 0,381315 |
| Resíduo | 60 | 560,750 | 9,346 | | |
| Total | 79 | 1805,388 | | | |

Apêndice 21.

Análise de Variância da Densidade Básica do Lenho em plantas de *Eucalyptus spp* aos 36 meses de idade.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | p |
|--------------------------|-------------|---------------|-------------|----------|----------|
| Espaçamento | 4 | 0,0161 | 0,0040 | 2,0951 | 0,0846 |
| Clone | 3 | 0,0210 | 0,0070 | 3,6425 | 0,0144 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 0,0407 | 0,0034 | 1,7612 | 0,0604 |
| Resíduo | 140 | 0,2694 | 0,0019 | | |
| Total | 159 | 0,3472 | | | |

Apêndice 22.

Análise de variância da densidade básica da casca.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | p |
|--------------------------|-------------|---------------|-------------|----------|----------|
| Espaçamento | 4 | 0,0012 | 0,0003 | 0,4810 | 0,7496 |
| Clone | 3 | 0,0159 | 0,0053 | 8,7226 | 0,0000 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 0,0079 | 0,0007 | 1,0791 | 0,3822 |
| Resíduo | 140 | 0,0853 | 0,0006 | | |
| Total | 159 | 0,1103 | | | |

Apêndice 23.

Análise de variância do percentual de casca aos 36 meses.

| Fator de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. | F | p |
|--------------------------|-------------|------------------|-------------|----------|----------|
| Espaçamento | 4 | 38,7928 | 9,6982 | 0,6782 | 0,6081 |
| Clone | 3 | 98,3416 | 32,7805 | 2,2925 | 0,0807 |
| Clone x Espaçamento | 12 | 180,7002 | 15,0583 | 1,0531 | 0,4045 |
| Resíduo | 140 | 2001,8662 | 14,2990 | | |
| Total | 159 | 2319,7008 | | | |

Apêndice 24.

Análise de Variância do PCS do Lenho

| Fonte | G.L. | S.Q | Q.M | F | Pr > F |
|--------------|-------------|-----------------|------------|----------|------------------|
| Clone | 3 | 75714.92 | 25238.31 | 16,25 | 0.0009 |
| Resíduo | 8 | 12421.33 | 1552.67 | | |
| Total | 11 | 88136.25 | | | |

Apêndice 25.

Análise de Variância do PCS da Casca

| Fonte | G.L. | S.Q | Q.M | F | Pr > F |
|--------------|-------------|------------|------------|----------|------------------|
| Clone | 3 | 98546.25 | 32848.75 | 15.41 | 0.0011 |
| Resíduo | 8 | 17048.67 | 2131.08 | | |
| Total | 11 | 115594.92 | | | |