

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**EFEITO DO ESPAÇAMENTO NA PRODUÇÃO,
VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E PROPRIEDADES
DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CRISTIANE CARLA BENIN

IRATI - PR

2014

CRISTIANE CARLA BENIN

**EFEITO DO ESPAÇAMENTO NA PRODUÇÃO , VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS
E PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Orientador

Prof. Dr. Éverton Hillig

Coorientador

IRATI-PR

2014

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

B467e BENIN, Cristiane Carla.
Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* / Cristiane Carla Benin. - Irati, PR : [s.n], 2014.
80f.

Dissertação (Mestrado) – área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais – Universidade Estadual do Centro - Oeste, PR UNICENTRO.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Luciano Farinha Watzlawick

Coorientador: Prof^o. Dr^o. Éverton Hillig

1. ENGENHARIA FLORESTAL . 2. TECNOLOGIA -
CARACTERISTICAS. 3. ESPAÇO VITAL. 4. MANEJO
FLORESTAL. 5. EUCALIPTO. I. WATZLAWICK, LUCIANO
FARINHA. II. HILLIG, ÉVERTON. III. UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, PR. IV. TÍTULO

CDD 20^a ed. 583.42



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 65

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir a mestrand **Cristiane Carla Benin** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "EFEITO DO ESPAÇAMENTO NA PRODUÇÃO, VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii*", é de parecer favorável à APROVAÇÃO da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 18 de março de 2014.

Dr. Setsuo Iwakiri
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador

Dr.ª Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Segunda Examinadora

Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1000 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR
Campus CEDETEG: Rua Simão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR
Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

À Deus, dedico o meu agradecimento maior,
por ter permitido que chegasse até aqui!

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de vida e amor.

Em especial ao Professor Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pela orientação deste trabalho, sugestões, amizade, confiança e incentivo em todos os momentos.

Ao Professor Dr. Éverton Hillig, pela coorientação neste trabalho e pela sua disponibilidade, sugestões e contribuições ao desenvolvimento do trabalho.

Aos meus pais, demais familiares e amigos, pelos incentivos e confiança.

Ao Charles Moretto, pelo apoio e compreensão à conclusão desta etapa.

Aos colegas do Laboratório de Ciências Florestais e Forrageiras: Fran, Saulo e Joelmir, pela amizade, momentos de trabalho, busca de resultados e momentos de descontração compartilhados.

Aos colegas do Mestrado, em especial: Vanessa, Ana, Paula, Marcelo, Dyandra, Izabel, Letícia, Ludmila e Saulo, pelos momentos e conhecimentos compartilhados, pela amizade e por todos os momentos que deixarão boas lembranças e muita saudade.

À Flávia Buhler dos Santos, aos demais professores do Programa de Pós- Graduação e à Coordenação do Mestrado em Ciências Florestais da UNICENTRO, por todos os auxílios prestados.

Ao seu Zico, Luiz Carlos, Eloísa e demais envolvidos com a coleta de dados de campo, que colaboraram com o trabalho, tornando-o mais interativo e produtivo.

À Empresa Golden Tree Reflorestadora Ltda., pela cessão das mudas utilizadas na implantação do plantio experimental estudado nesta pesquisa.

À serraria PATZICK, e aos funcionários pela contribuição no desdobro da madeira.

Ao Erich Cassiano que prontamente contribuiu com os procedimentos na marcenaria e à Fernanda Setzuk pelos auxílios com os ensaios mecânicos.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Por fim, a todos que colaboraram de alguma maneira para o desenvolvimento do trabalho e aprendizado, o meu muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA.....	1
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	1
1.2 REFERENCIAL TEÓRICO	2
1.2.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>	2
1.2.1.1 <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage	3
1.2.2 Efeito do espaçamento.....	5
1.2.3 Crescimento das variáveis dendrométricas em função do espaçamento	6
1.2.3.1 Altura	6
1.2.3.2 Diâmetro e área basal	7
1.2.3.3 Volume	8
1.3 Propriedades da madeira em função do espaçamento	9
1.3.1 Propriedades físicas	9
1.3.2 Propriedades mecânicas.....	12
1.4 MATERIAL E MÉTODOS	14
1.4.1 Localização e caracterização da área de estudos	14
1.4.2 Clima	14
1.4.3 Solo.....	15
1.4.4 Caracterização geral do experimento	15
1.4.5 Delineamento experimental.....	15
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
2. <i>Eucalyptus benthamii</i> EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO.....	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT	25
2.1 INTRODUÇÃO	26
2.2 OBJETIVOS	27
2.2.1 Objetivo geral	27
2.2.2 Objetivos específicos.....	27
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	27

2.3.1	Caracterização da área	27
2.3.2	Amostragem e coleta de dados	27
2.3.3	Dados dendrométricos	28
2.3.3.1	Cubagem rigorosa.....	28
2.3.3.2	Relação hipsométrica.....	28
2.3.3.3	Área transversal e área basal	29
2.3.3.4	Volume individual e volume por hectare	29
2.3.4	Avaliações estatísticas	29
2.3.4.1	Avaliação dos ajustes.....	29
2.3.4.2	Correlação linear entre variáveis dendrométricas e espaçamento de plantio	30
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.4.1	Relação hipsométrica.....	31
2.4.2	Relação volumétrica	33
2.4.3	Correlação linear entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento.....	33
2.4.4	Variáveis dendrométricas	35
2.4.4.1	Diâmetro	35
2.4.4.2	Altura total.....	36
2.4.4.3	Área transversal	38
2.4.4.4	Área basal	38
2.4.4.5	Volume individual com casca	39
2.4.4.6	Volume por hectare	41
2.5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	43
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
3.	EFEITO DO ESPAÇAMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	46
	RESUMO.....	46
	ABSTRACT	47
3.1	INTRODUÇÃO	48
3.2	OBJETIVOS	49
3.2.1	Objetivo geral	49
3.2.2	Objetivos específicos.....	49
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	49
3.3.1	Amostragem e seleção de material para realização de ensaios físicos.....	49
3.3.1.1	Preparo das amostras para os ensaios físicos.....	50
3.3.2	Determinação da densidade básica da madeira	50

3.3.3 Estabilidade dimensional.....	51
3.3.4 Coeficiente de anisotropia (T/R)	52
3.3.5 Avaliações estatísticas	53
3.3.6 Amostragem e seleção de material para realização de ensaios mecânicos.....	53
3.3.6.1 Descrição dos ensaios e dimensões dos corpos de prova	55
3.3.6.2 Flexão estática (Norma COPANT 555)	55
3.3.6.3 Cisalhamento (Norma COPANT 463)	55
3.3.6.4 Compressão paralela às fibras (Norma COPANT 464).....	56
3.3.6.5 Dureza (Norma COPANT 465).....	57
3.3.6.6 Correções dos valores de resistência e rigidez da madeira para 12 % de umidade..	59
3.3.7 Avaliações estatísticas	59
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.4.1 Propriedades físicas	60
3.4.1.1 Densidade básica ponderada pelo volume.....	60
3.4.1.2 Densidade básica média em função do espaçamento e da altura no fuste.....	61
3.4.2 Estabilidade dimensional.....	63
3.4.2.1 Retração radial e Tangencial	63
3.4.2.2 Retração volumétrica	65
3.4.2.3 Coeficiente de anisotropia (T/R)	66
3.4.3 Propriedades mecânicas.....	68
3.4.3.1 Flexão estática	68
3.4.3.2 Cisalhamento e Compressão Paralela às fibras	70
3.4.3.3 Dureza.....	72
3.4.4 Análise geral do espaçamento sobre as propriedades da madeira	73
3.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO 1.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição Geográfica do <i>E. benthamii</i> , na região de ocorrência natural. Fonte: BRONDANI (2008), adaptado.	3
Figura 2. Localização do Município de Guarapuava. Fonte: RODRIGUES, 2012 (Adaptado).	14
Figura 3. Layout do experimento demonstrando a disposição dos blocos e alocação dos tratamentos.....	16
Figura 4. Etapas de realização do trabalho.....	17
Figura 5. Distribuição gráfica de resíduos para os modelos hipsométricos ajustado.....	32
Figura 6. Distribuição gráfica de resíduos para o modelo volumétrico de Schumacher-Hall.....	33
Figura 7. Etapas de coleta e preparo dos discos de 5 cm de <i>E. benthamii</i> , para a realização de ensaios de densidade básica e estabilidade dimensional. Foto: O autor (2013).	50
Figura 8. Procedimentos realizados para a obtenção de amostras e realização de ensaios mecânicos. (A)- árvores amostradas. (B e C) – Desdobro de toras em pranchões centrais e vigas. (D)- Corpos de prova (E)- Máquina Universal de ensaios mecânicos.....	54
Figura 9. A- Dimensões do corpo de prova de cisalhamento. B- Representação do ensaio de cisalhamento.	56
Figura 10. Representação do ensaio de compressão paralela às fibras, indicando o uso de extensômetro na mensuração do deslocamento das fibras.....	57
Figura 11. A- Corpo de prova de dureza. B- Representação do ensaio de dureza no sentido axial. C- Representação do ensaio no sentido radial.....	58
Figura 12. Módulo de ruptura em função da rigidez da madeira	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades mecânicas da madeira de algumas espécies de <i>Eucalyptus</i> , de acordo com a ABNT (1997).	13
Tabela 2. Espaçamentos adotados no plantio experimental de <i>E. benthamii</i>	16
Tabela 3. Modelos hipsométricos testados	28
Tabela 4. Interpretações dos coeficientes de correlação de Pearson	30
Tabela 5. Coeficientes e estatísticas dos modelos hipsométricos testados	31
Tabela 6. Modelo de Schumacher- Hall ajustado e as respectivas estatísticas.....	33
Tabela 7. Correlação linear entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento, em plantio experimental de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade.	34
Tabela 8. Diâmetro médio de árvores de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.	35
Tabela 9. Altura total média de árvores de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.	37
Tabela 10. Valores médios de área transversal (m^2) de árvores de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.	38
Tabela 11. Valores médios de área basal por hectare ($m^2 \cdot ha^{-1}$) em plantio experimental de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio..	39
Tabela 12. Volume médio individual de árvores de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.....	40
Tabela 13. Volume por hectare de árvores de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.....	41
Tabela 14. Densidade básica ponderada pelo volume de árvores de <i>E. benthamii</i> , em função do espaçamento de plantio, aos seis anos de idade.	60
Tabela 15. Densidade básica média da madeira de <i>E. benthamii</i> , em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.....	62
Tabela 16. Valores médios de retração radial (%) e tangencial (%) da madeira de <i>E. benthamii</i> , em função do espaçamento de plantio e amostragem no fuste, aos seis anos de idade.	63
Tabela 17. Valores médios de retração volumétrica da madeira de <i>E. benthamii</i> , em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.	65

Tabela 18. Coeficiente de anisotropia em árvores de <i>E. benthamii</i> , em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.....	67
Tabela 19. Coeficiente de anisotropia encontrado para algumas espécies de <i>Eucalyptus</i>	67
Tabela 20. Módulo de elasticidade e módulo de ruptura para o ensaio de flexão estática na madeira de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade.	68
Tabela 21. Resistência ao Cisalhamento (FVo), Resistência à Compressão Paralela às fibras (FCo) e Módulo de elasticidade no ensaio de Compressão (MOEc), na madeira de <i>E. benthamii</i> , aos seis anos de idade.	71
Tabela 22. Dureza Janka observada no sentido axial, radial e tangencial, para a madeira de <i>E.benthamii</i> , aos seis anos de idade.	72

RESUMO

Cristiane Carla Benin. Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedade da madeira de *Eucalyptus benthamii*.

Considerando que o espaçamento é um dos fatores condicionantes da produção florestal e tendo em vista que pode causar modificações nas taxas de crescimento da floresta e sobre as propriedades da madeira, o presente estudo teve como principal objetivo avaliar o efeito de quatro espaçamentos de plantio na produção e desenvolvimento das variáveis dendrométricas de *E. benthamii* e nas propriedades físicas e mecânicas de sua madeira. As avaliações foram realizadas aos seis anos de idade, com dados e amostras de madeira obtidas a partir de um plantio experimental implantado no ano de 2006, em Guarapuava- PR. O plantio foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, sobre quatro espaçamentos: 3 x 2m, 3 x 3m, 4 x 3m e 4 x 4m. As variáveis dendrométricas DAP (cm), altura total (m), área transversal (m²), área basal (m² .ha⁻¹), volume individual (m³) e volume/ha (m³. ha⁻¹) foram avaliadas em função do espaçamento de plantio. A correlação entre estas variáveis e o espaçamento também foram avaliadas. Das propriedades físicas da madeira, a variação da densidade básica média e da estabilidade dimensional da madeira foi avaliada em função dos espaçamentos de plantio e da posição de amostragem no fuste. Já a densidade básica ponderada pelo volume e as propriedades de resistência e rigidez da madeira que foram determinadas pelos ensaios mecânicos, foram caracterizadas e analisadas apenas sob o efeito do espaçamento. De modo geral, as variáveis dendrométricas apresentaram alta correlação com o espaçamento. Os espaçamentos mais amplos favoreceram o diâmetro, altura, área transversal e o volume individual, enquanto os menores espaços vitais foram responsáveis pelos maiores valores de área basal e volume por hectare. A produção oscilou de 238,90 m³.ha⁻¹ no maior espaçamento a 392,08 m³.ha⁻¹ no menor espaçamento. A densidade básica não sofreu influência do espaçamento, sendo que a média registrada entre os quatro espaçamentos foi de 0,49 g/cm³. Os valores de retração da madeira demonstraram elevada instabilidade dimensional. Poucos efeitos do espaçamento foram registrados sobre as propriedades mecânicas da madeira, sendo que na idade avaliada a madeira pode ser caracterizada com baixa a média resistência mecânica. Nas condições deste estudo, concluiu-se que os diferentes espaçamentos de plantio influenciaram as variáveis dendrométricas e a produção florestal, no entanto não foram responsáveis por alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Palavras- chave: Características tecnológicas, espaço vital, manejo florestal.

ABSTRACT

Cristiane Carla Benin. Effect of spacing on production, dendrometric variables and properties of *Eucalyptus benthamii* wood.

Whereas the spacing is one of the determining factors for forestry production and considering that can cause changes in the growth rates of the forest and on the wood properties, the present study aimed to evaluate the effect of four planting spacings in the production and development of dendrometric *Eucalyptus benthamii* variables and the physical and mechanical properties of the wood. Evaluations were performed at six years of age, with dendrometric data and wood samples obtained from an experimental planting deployed to the 2006, in Guarapuava - PR. The planting was conducted in randomized block design on four spacings: 3 x 2m, 3 x 3m, 4 x 3m and 4 x 4m. The dendrometric variables DBH(cm), total height(m), cross section area (m²), basal area (m².ha⁻¹), individual volume (m³) and volume .ha⁻¹ ha (m³. ha⁻¹) were evaluated according to different planting spacings. The correlation between these variables and the vital space were also evaluated. The physical properties of wood, the variation of average basic density and dimensional stability of wood were evaluated against the planting spacing and sampling position on the stem wood. The basic density weighted by the volume and properties of strength and stiffness of the timber were determined by mechanical testing, were characterized and analyzed only under the effect of spacing. In general, the dendrometric variables were highly correlated with the spacing. The wider spacings favored the diameter, height, cross-section area and individual volume, while smaller vital spaces were responsible for the higher values of basal area and volume per hectare. Production ranged from 238.90 m³. ha⁻¹ in the greater spacing and 392.08 m³. ha⁻¹ in smaller spacing. Basic density was not influenced by spacing, and the average recorded between the four spacings was 0.49 g/cm³. The values of wood shrinkage demonstrated high dimensional instability. Few effects of spacing were recorded on the mechanical properties of the wood, and in age evaluated the wood can be characterized with low to medium strength. In this study it was concluded that different planting spacings influenced the growth of dendrometric variables and forestry production, however, were not responsible for changing the physical and mechanical properties of wood.

Keywords: Technological characteristics, vital space, forest management.

1. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas são uma importante atividade econômica, social e ambiental. O fornecimento de matéria-prima advindas destas florestas para o desenvolvimento de distintos setores industriais do país é incontestável, confirmados pela utilização e comercialização dos produtos florestais e sua contribuição ao desenvolvimento econômico do país.

Embora verificada uma estabilização no aumento da área plantada entre 2011 e 2012, a área ocupada por plantios florestais totalizou 6,66 milhões de hectares no último período. Deste total, mais de 75% da área são correspondentes a reflorestamentos de *Eucalyptus*. A distribuição geográfica das áreas ocupadas por reflorestamentos de *Pinus* e *Eucalyptus* no território brasileiro demonstram que o estado do Paraná ocupa a 3ª posição do ranking da distribuição das florestas plantadas (ABRAF, 2013).

A preferência por espécies de rápido crescimento e a versatilidade no uso da madeira ressaltam a importância do gênero *Eucalyptus* no Brasil. A adaptação ecológica favoreceu o desenvolvimento de diversas espécies desse gênero, assim como o apoio de pesquisas na área de melhoramento florestal, a evolução das tecnologias e a gestão florestal foram fundamentais nesta etapa.

Na região Sul do Brasil, o *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage ganhou espaço no estabelecimento de novos reflorestamentos devido ao seu desempenho frente às condições climáticas encontradas, sobretudo pela tolerância a ocorrência de frequentes geadas. O bom crescimento e os atributos silviculturais também são características que destacam a espécie. No entanto, a carência de estudos recentes quanto às propriedades e a qualidade da madeira do *E. benthamii* após sucessivos ganhos advindos do melhoramento genético das sementes, limitam seu uso à alguns fins.

São escassos os estudos sobre alterações nas características/propriedades da madeira pelo efeito do ambiente e de práticas silviculturais em folhosas adaptadas às regiões com predominância de clima frio, e faz-se necessário conhecer estas influências nas propriedades dessas madeiras, uma vez que se conhece o potencial produtivo de uma espécie e se busca adequações para o uso da madeira, como o caso do *E. benthamii*.

Sendo o espaçamento um dos fatores condicionantes da produção florestal que pode ser facilmente controlado pelo manejador e tendo em vista que pode causar reflexos nas taxas de crescimento da floresta e sobre as propriedades da madeira, é oportuno avaliar o efeito desta prática silvicultural nas características dendrométricas e tecnológicas, para que possa assegurar a produção florestal, a qualidade e a adequada utilização do produto obtido.

Desta forma, o presente trabalho foi realizado para avaliar o comportamento da espécie em diferentes espaçamentos de plantios. Assim, esta dissertação está estruturada em três capítulos, sendo que no primeiro são abordados os aspectos gerais da pesquisa. O segundo relata sobre o desenvolvimento das variáveis dendrométricas e a produção de *Eucalyptus benthamii* nos diferentes espaçamentos e o terceiro procura caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira mediante o efeito de quatro espaçamentos de plantio.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 O gênero *Eucalyptus*

O *Eucalyptus* pertence a família *Myrtaceae* e ocorre naturalmente na Austrália. O gênero é representado por aproximadamente 600 espécies que se destacam pela boa adaptação ao solo e clima. As árvores de *Eucalyptus* caracterizam-se geralmente pelo grande porte, com um padrão de 30 a 50 metros de altura, com árvores menores de 10 e 25 metros (MORA; GARCIA, 2000).

As primeiras evidências da disseminação do *Eucalyptus* são do início do século XIX, sendo que o primeiro registro foi feito em 1823 no Chile e posteriormente na Argentina e Uruguai e no ano de 1850 em Portugal, Espanha e Índia. No Brasil, os relatos de plantio de alguns exemplares datam de meados do século XIX. Um grande marco no desenvolvimento do *Eucalyptus* no Brasil foi o início das pesquisas com o gênero feitas pelo Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade já no século XX, que a partir dos seus resultados levaram a sistematização da cultura, que começou a se expandir para o suprimento de madeira às ferrovias da Companhia Paulista de Estrada de Ferro (BERTOLA, 2013) e aos poucos o *Eucalyptus* foi sendo uma alternativa de matéria-prima também em outras regiões do País. Com a crescente demanda de madeira no País, no ano de 1966 o programa de incentivos

fiscais foi instituído pelo governo federal, favorecendo o aumento da área plantada com a cultura (BERTOLA, 2013; GATRAPAGLIA et al., 2008).

Assim como as condições climáticas e edáficas que favoreceram a adaptação do *Eucalyptus* no Brasil, o melhoramento genético e a propagação vegetativa em escala comercial nos anos 70 e 80 foram essenciais para a produção florestal, levando o Brasil a ser referência mundial na eucaliptocultura a partir da década de 90, o que se estende até o presente (MORA; GARCIA, 2000; GATRAPAGLIA et al., 2008).

1.2.1.1 *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage

O *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage é originário do Oeste de Sidney, na Austrália, onde pode ser encontrado naturalmente nas margens de rios. A espécie desenvolve-se bem em solos férteis, rasos e moderadamente drenados, com boa adaptabilidade a diversos sítios e ambientes com temperaturas entre 13° C a 17° C, inverno oscilando entre 1° C e 3° C, com incidência de 3 a 10 geadas anuais. Apresenta rápido crescimento, boa forma de fuste e produtividade (HIGA; PEREIRA, 2003).

Na região de ocorrência natural, a população sofreu expressivas reduções pela intensificação na expansão da fronteira agrícola e formação de pastagens. Em 1933, a construção da represa de Warragamba inundou grande parte dos indivíduos o que acarretou em restrições na produção e disponibilidade de sementes (BENSON, 1985). A distribuição geográfica de ocorrência natural é apresentada na Figura 1.

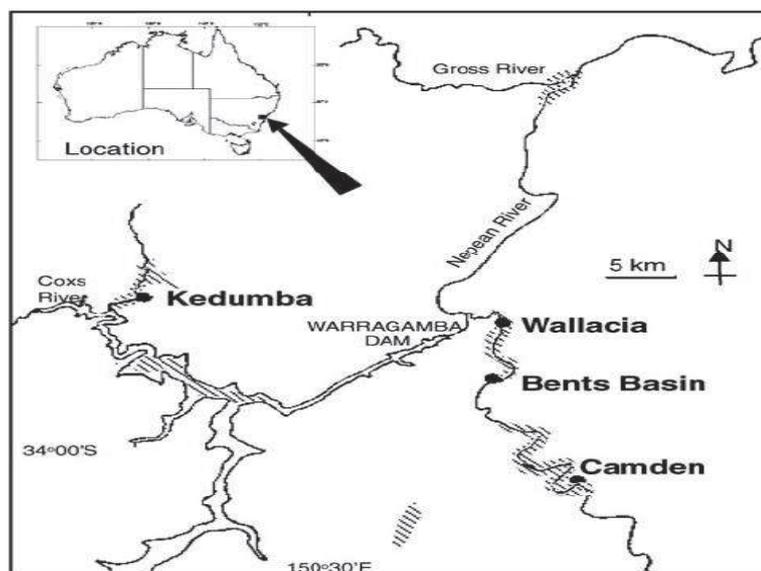


Figura 1. Distribuição Geográfica do *E. benthamii*, na região de ocorrência natural. Fonte: BRONDANI (2008), adaptado.

Mais tarde, a população remanescente e outros indivíduos isolados ao longo do rio Nepean entre as localidades de Wallacia e Camden e outra população em Kedumba Creek, foram ameaçadas pela ocorrência de três incêndios em dezembro de 1957, dezembro de 1979 e outubro de 1981 e também por alterações nos regimes hídricos. Essas condições comprometeram a disseminação da espécie, tornando-a vulnerável à extinção nas áreas de ocorrência natural (HIGA; PEREIRA, 2003).

No Brasil, a introdução da espécie foi feita pela Embrapa Florestas no ano de 1988. Inicialmente, um lote de sementes provenientes de 7 a 10 matrizes com procedência geográfica Wentworth Falls, NSW foi importada da região de ocorrência natural (GRAÇA et al., 1999; HIGA; PERREIRA, 2003). Com o plantio dessas sementes, estabeleceu-se uma população de *E. benthamii* no Município de Colombo, no Estado do Paraná, caracterizada atualmente como uma área alterada de coleta sementes com matrizes marcadas (APS-AM) (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006). Assim, iniciou-se a disseminação da espécie na região Sul, principalmente com a formação de plantios experimentais e comerciais em Guarapuava e Colombo- PR.

Em 2005 houve uma ampliação na base genética da espécie com a importação de mais 36 lotes de sementes de progênies de polinização aberta e dois outros lotes de sementes oriundas de árvores das populações naturais da região de origem (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006).

Relatos sobre o desenvolvimento do *E. benthamii* no sul do Brasil indicam o alto potencial da espécie no estabelecimento de reflorestamentos e suprimento de matéria-prima, devido a adaptação frente às condições climáticas encontradas nessa região. Higa e Carvalho (1990) observaram sobrevivência de 70%, DAP médio de 15 cm e altura média de 16 m, aos 45 meses de idade, em plantios de *E. benthamii* localizado no Município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná.

No estado de Santa Catarina, plantios experimentais de *E. benthamii* com dois e três anos de idade mostraram bom crescimento e resistência à ocorrência de geadas severas e frequentes (HIGA ; PEREIRA, 2003). O cultivo em áreas montanhosas do Estado de Minas Gerais também foi considerado promissor para a espécie (EMBRAPA, 1988).

A primeira geração de *E. benthamii* no Município de Colombo-PR apontou crescimento médio de 2,3 metros em altura e 2,7 cm em diâmetro/ano, em avaliações aos oito anos de idade. A madeira foi descrita com casca fibrosa no fuste e a densidade básica da

madeira, aos sete anos de idade, foi próxima a 477 g/cm^3 , indicando maior aptidão para fins energéticos (PEREIRA et al., 2000).

Estudos preliminares do potencial energético e industrial da madeira de *E. benthamii* evidenciaram que a madeira é suscetível a rachaduras e empenamento das tábuas durante a secagem, necessitando de adaptações no processo (HIGA ; PEREIRA, 2003) .

1.2.2 Efeito do espaçamento

Uma das principais decisões silviculturais no planejamento da produção florestal está na escolha do espaçamento de plantio, haja vista que esta é a primeira prática que pode causar alterações nas características da futura árvore (KRONKA et al., 2005). O espaçamento de plantio deve proporcionar às árvores condições máximas de crescimento, evitando o desperdício de espaço entre as plantas (FAO, 1960, citado por PAULESKI, 2010).

O espaçamento não deve ser generalizado, mas sim ser estudado particularmente em cada situação, considerando a singularidade de cada local, sítio e espécie (BOTELHO, 1998), uma vez que pode influenciar na morfologia das árvores e desenvolvimento das variáveis dendrométricas (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989) e ainda ocasionar reflexos nas propriedades da madeira e nos custos de produção (SIMÕES et al., 1976).

Binkley et al. (2002) salientam que a escolha de arranjos e espaçamentos inadequados a espécie e à finalidade do plantio podem intensificar a competição e reduzir a homogeneidade de crescimento, o que contribui para o aumento do número de árvores dominadas e menor utilização dos recursos disponíveis.

Para o estabelecimento de povoamentos florestais com qualidade e otimização dos recursos, muitos são os fatores envolvidos já na decisão do espaçamento inicial de plantio. O efeito do espaçamento no crescimento das plantas e na qualidade da madeira, idade de corte, futuras intervenções silviculturais e custos de implantação são alguns dos aspectos fundamentais a serem considerados nesta fase (BALLONI; SIMÕES, 1980; COUTO et al., 1977). Os espaçamentos também são definidos, na maioria das vezes, de maneira que se possa mecanizar as atividades envolvidas durante a o ciclo da floresta (BOTELHO, 1998).

Para Vale et al. (1982), a qualidade do sítio é um fator preponderante na escolha do espaçamento inicial e determinante da futura produção florestal. Segundo Botelho (1998), as exigências específicas da espécie e a destinação final do plantio também são fatores importantes nesta etapa. Além disso, a densidade inicial de plantio, determinada pela escolha

do espaçamento, deve ser entendida como uma importante ferramenta que o manejador pode alterar na condução da floresta em favor da produção e da qualidade do produto obtido.

Dentre os benefícios conferidos pela utilização de espaçamentos mais amplos pode-se destacar o maior desenvolvimento do diâmetro das árvores e volume individual, facilidade de mecanização das atividades e tratos silviculturais, redução da taxa de mortalidade e do número de árvores dominadas (GUIMARÃES (1957), citado por BERGER (2000). No entanto, árvores crescendo mais espaçadas podem apresentar forma indesejável para algumas finalidades específicas, principalmente por apresentarem-se mais cônicas, algumas vezes tortuosas e com galhos mais grossos (COUTO et al., 1977).

Os espaçamentos mais reduzidos, por sua vez, resultam em alta produção volumétrica por unidade de área e árvores com melhor forma em função da presença de poucos galhos, no entanto com diâmetros inferiores (FISHWICK, 1976). Com a adoção de espaçamentos menores, a estagnação do crescimento, a idade rotação ou intervenções silviculturais serão definidas mais precocemente para uma mesma espécie e sítio, em função da maior densidade populacional (SCOLFORO, 1998).

1.2.3 Crescimento das variáveis dendrométricas em função do espaçamento

As variáveis dendrométricas (altura, diâmetro, área basal, volume individual e volume/ha) sofrem alterações com o avanço da idade do povoamento e estão sujeitas a algumas tendências de crescimento em função do espaçamento (LEITE et al., 2006).

Segundo Mora (1986) há diversidade de respostas no desenvolvimento destas variáveis, tanto de ordem negativa como positiva entre as espécies, em função do aumento do espaçamento de plantio.

1.2.3.1 Altura

A altura é uma informação fundamental nas florestas em desenvolvimento. É uma variável dendrométrica essencial para o cálculo do volume e de incrementos em altura e volume (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Os registros da literatura sobre a influência que o espaçamento de plantio pode exercer sobre o crescimento em altura são contrastantes. Alguns estudos relatam ocorrer maiores alturas nos espaçamentos com menor área vital entre plantas, mas isso nem sempre segue esta tendência.

Pesquisas conduzidas na década de 80, investigando a influência do espaçamento na produtividade das florestas de *Eucalyptus*, constataram uma redução da altura média de acordo com a redução do espaçamento (BALLONI; SIMÕES, 1980). Este fato pode ser explicado pelo aumento do número de árvores dominadas nos povoamentos mais adensados, e assim na redução da altura média do povoamento, contudo, não altera a altura dominante.

Schneider (1993) afirma que o crescimento em altura é maior em relação ao diâmetro em espaçamentos menores, que contemplam maior número de indivíduos por unidade de área, haja vista que em condições de competição, as árvores têm o crescimento longitudinal favorecido. Para Bernardo (1995), esta tendência de aumento inicial da altura com a redução do espaçamento também é explicada com base na competição por luz.

Plantios de *E. grandis* Hill ex Maiden, com espaçamentos variando de 2 a 6 m²/planta não demonstraram efeitos da densidade de plantio na sobrevivência e no crescimento diamétrico, no entanto, foi possível observar diferenças significativas no crescimento em altura e incremento volumétrico, nas medições realizadas até os 48 meses de idade (REZENDE et al., 1981).

Coelho et al. (1970) afirmaram que de modo geral, o espaçamento não influenciou o crescimento em altura das árvores de quatro espécies de *Eucalyptus*. Entre três e quatro anos notou-se árvores maiores no espaçamento mais amplo, com 6 m² naquele caso.

Considerando a influência do espaçamento no crescimento das variáveis altura e diâmetro em plantio de *Pinus taeda*, estabelecido sob nove diferentes espaçamentos de plantio, Inoue et al. (2011b), constataram que os arranjos mais apertados assumiram diferença entre os tratamentos de até 1,6 metros no crescimento médio em altura.

1.2.3.2 Diâmetro e área basal

O incremento em diâmetro é resultado da atividade do meristema cambial, sendo este crescimento variável ao longo do tronco das árvores e fortemente afetado pelo efeito do espaçamento de plantio (ENCINAS, 2005).

Arranjos mais espaçados tendem a produzir árvores com maiores diâmetros e maior volume individual enquanto em espaçamentos mais fechados as árvores possuem menor diâmetro e conseqüentemente menor volume por árvore (FISHWICK, 1976; BALLONI; SIMÕES, 1980 ; BERGER et al., 2002).

Em termos de favorecimento no crescimento diamétrico pela adoção de espaçamentos mais amplos, vários autores comprovaram tal fato, destacando-se os estudos de Couto et al. (1977), Balloni; Simões, (1980); Leles et al. (2001); Berger et al. (2000); Inoue et al., (2011b) e Reiner et al.(2011).

Coelho et al. (1970) estudando o comportamento de quatro espécies de eucaliptos (*E. Alba*, *E. saligna*, *E. grandis* e *E. propinqua*) em espaçamentos com área vital entre 4,5 e 6 metros observaram efeitos mais acentuados sobre o diâmetro e volume, excepcionalmente para o *E. grandis*.

Os mesmos fatores que influenciam o crescimento do diâmetro também favorecem a área basal, porém, o incremento da área basal difere do incremento diamétrico (BURGER, 1980).

O incremento da área basal está relacionado à área transversal e ao número de indivíduos existentes em um povoamento. O aumento da área basal é verificado até o momento em que os indivíduos entram em competição (DACOSTA, 2008) sendo também influenciado pela idade do povoamento e qualidade do sítio (SCHNEIDER, 1993).

1.2.3.3 Volume

A produção volumétrica é um dos objetivos principais em um reflorestamento. O crescimento em volume está relacionado ao crescimento em diâmetro, altura e na forma do fuste (ENCINAS, 2005).

Embora árvores de povoamentos florestais que cresçam mais espaçadas propiciem maiores valores médios de diâmetro, área transversal e conseqüentemente maior volume individual, a produção líquida é inferior às maiores densidades populacionais (SCOLFORO, 1994). Isso está diretamente relacionado à menor frequência de árvores por hectare nos espaçamentos mais amplos (ENCINAS, 2005).

De modo geral, ao final da rotação, a produção volumétrica total tende a ser similar ao se considerar a adoção de espaçamentos menores ou mais amplos entre plantas, sendo que a diferença volumétrica em diferentes espaçamentos é decorrente do período de tempo necessário para a ocupação de um sítio e da qualidade deste (BERNARDO, 1995).

O incremento volumétrico nos espaçamentos menores está agregado à presença de um número maior de indivíduos por área, enquanto nas menores densidades populacionais, o

incremento de volume concentra-se num menor número de indivíduos, porém é favorecido por um maior incremento individual pela presença de árvores maiores (SCHNEIDER, 1993).

A maior produção volumétrica líquida em um plantio experimental de *Eucalyptus dunnii* na região Sudoeste do Paraná correspondeu ao menor arranjo de plantio adotado (1,5 x 1,5 m), indicando que o efeito do maior número de indivíduos por unidade de área contribuiu intensamente na produtividade total (REINER et al., 2011).

1.3 Propriedades da madeira em função do espaçamento

Em povoamentos florestais estabelecidos com espécies de curta rotação, o espaçamento inicial adotado pode afetar diretamente a qualidade do produto final, em função de alterações nas taxas de crescimento, forma de crescimento das árvores e pelas características associadas à formação de lenho juvenil (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

1.3.1 Propriedades físicas

Nas avaliações de qualidade da madeira, a densidade básica é um dos parâmetros mais importantes pela associação com algumas importantes características tecnológicas da madeira (HASELEIN, 2002).

A densidade é um parâmetro quantitativo que resulta de características anatômicas e da composição química da madeira. É uma propriedade da madeira de fundamental importância para os diversos setores florestais, desde o manejo e tecnologia ao melhoramento florestal (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989). É variável em função do material genético, taxa de crescimento, idade, entre indivíduos de uma mesma população, e dentro da mesma árvore no sentido base- topo e medula-casca, e de acordo com a estrutura anatômica da madeira (TOMAZELLO FILHO, 1985).

As alterações da densidade básica árvore são observadas até determinada idade para cada espécie, onde nota-se um aumento pronunciado nos seus valores. Após, há uma tendência de estabilização desta propriedade (BARRICHELO; BRITO, 1979; RIBEIRO; FILHO, 1993).

As variações na densidade básica observada dentro de uma mesma árvore são relatadas na literatura. No sentido longitudinal, exemplos de variações de densidade básica da madeira foram descritos como: (i) decrescente uniformemente com a altura (base- topo); (ii)

decrecente até o meio do tronco e crescente deste ponto até o topo; (iii) crescente da base para o topo, não seguindo um padrão uniforme de variação (PANSWIN & DE ZEEW (1970), citado por (SOUZA et al., 1986).

Estudos da densidade básica de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* mostraram evidentes variações no sentido base- topo. De modo geral, notaram-se valores decrescentes até o DAP ou 25% da altura comercial e a partir desse ponto os valores foram crescentes até o topo (SOUZA et al., 1986).

Alzate et al. (2005) ao investigar a variação longitudinal da densidade básica para clones de *Eucalyptus*, detectaram dois padrões distintos de variação da densidade. Para o *E. grandis* notou-se decréscimo da densidade básica até 50% da altura, e a partir daí aumento até o ápice. Para o híbrido *E. grandis* x *urophylla* notou-se aumento da densidade básica no sentido base-topo.

No sentido medula-casca, tendências de aumento da densidade básica da madeira foram observadas em árvores de *E. grandis*, nas avaliações aos três anos de idade (BRASIL et al., 1979). Tomazello Filho (1985); Oliveira et al. (2005) também comprovaram em seus estudos um aumento da densidade básica no sentido medula- casca para outras espécies de *Eucalyptus*.

Além dos fatores citados e das particularidades de cada espécie, as alterações na densidade da madeira são dependentes dos fatores externos, ambientais e tratos culturais, especialmente pela possibilidade destes fatores causarem mudanças em alguma característica da madeira ou modificações no meio em que a árvore se desenvolve (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

O espaçamento é uma prática que pode alterar o crescimento das plantas. As diferenças na densidade de um povoamento, definidas pelo espaçamento, podem resultar em alterações na qualidade da madeira (SOUZA, 1995).

De acordo com Garcia et al. (1991), espaçamentos mais amplos tendem a produzir madeiras com valores mais baixos de densidade básica. Este fato deve-se ao aumento da taxa de crescimento e maior formação de lenho juvenil, o qual apresenta como característica marcante menor densidade (BOTELHO, 1998). Do contrário, verifica-se a redução do percentual de lenho juvenil nos espaçamentos menores entre plantas, sendo de se esperar madeiras com maior densidade básica e resistência mecânica (CHIES, 2005).

Brasil e Ferreira (1971) concluíram em seu estudo que o espaçamento de plantio não causou efeito sobre a densidade básica média da madeira em diferentes espécies de *Eucalyptus* sp. Estes mesmos autores, no entanto, destacaram variações na densidade básica em função da localidade de plantio, atribuindo esse resultado às diferenças ecológicas em cada região.

A densidade básica e densidade da casca não sofreram efeito do espaçamento de plantio para as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*, nas investigações aos 52 meses de idade, no entanto, houve uma tendência de redução da densidade com o aumento da altura de amostragem no fuste (VITAL; DELLA LUCIA, 1987).

Berger et al. (2000), observaram efeito positivo do espaçamento com maior área vital (12 m²) na densidade básica ao estudar um povoamento clonal de *E. saligna*, aos dez anos de idade.

Em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, o comportamento da densidade básica da madeira em diferentes espaçamentos sofreu variações até 4,05 m² de área vital por planta. A partir do espaçamento com 4,95 m² de área vital, não houve mais resposta da densidade básica em função do aumento do espaçamento (DOS SANTOS, 2011).

Outra propriedade física de grande importância na qualidade da madeira corresponde às variações dimensionais ocorridas na madeira. Quando a madeira perde água (dessorção da água higroscópica das paredes) está sofrendo alterações dimensionais e também volumétricas. As alterações dimensionais ocorrem abaixo do ponto de saturação das fibras (0- 28 % de Umidade). De acordo com Lima (1996), as contrações volumétricas, radial e tangencial estão intimamente correlacionadas com a densidade básica da madeira.

Resultados de retratibilidade volumétrica de *Pinus caribea* e *Eucalyptus grandis*, em função da umidade, apontaram que as retratibilidades máximas são dependentes da densidade básica ou da densidade a 0 % de umidade (REZENDE, 2003).

As mudanças dimensionais ocorridas na madeira são variáveis nas três direções estruturais. Segundo Oliveira e Silva (2003) a contração na direção tangencial é cerca de duas vezes maior do que na direção radial e o fator de anisotropia (relação T/R) varia de 1,5 a 2,5.

As variações verificadas nas contrações radiais e tangenciais podem estar associadas à influência dos raios, ao efeito do maior número de pontuações nas paredes radiais e também à alternância dos lenho inicial e tardio (GALVÃO e JANKOWISKY, 1985).

O fator anisotrópico, definido pela razão das contrações tangenciais e radiais (T/R), é considerado um excelente indicativo da estabilidade dimensional da madeira, mas não deve ser considerado de forma isolada.

Madeiras que apresentam baixa relação T/R, oriundos de baixos valores absolutos de contração tangencial e radial, são as madeiras mais estáveis (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Por sua vez, madeiras com baixos coeficientes de anisotropia, mas advindos de contrações tangencial e radial altas denotam madeiras de alta instabilidade dimensional (ROCHA, 2000).

Chies (2005) ao estudar a qualidade da madeira serrada de *Pinus taeda* em função do espaçamento de plantio, concluiu quanto às propriedades físicas:

- ✓ Tendência de aumento da densidade básica com a diminuição do espaçamento;
- ✓ Redução dos valores de contração média, volumétrica e tangencial com o aumento do espaçamento entre árvores;
- ✓ O coeficiente de anisotropia (T/R) apresentou tendências de diminuir com a redução da área vital entre árvores.

1.3.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira estão estreitamente relacionadas com a densidade básica. Contudo, são dependentes de outros fatores como percentual de madeira juvenil, largura dos anéis de crescimento, ângulo das microfibrilas, inclinação da grã, quantidade de extrativos, teor de umidade, dentre outros (EVANS et al., 2000).

Os ensaios de resistência mecânica, realizados na madeira e em outros materiais, permitem conhecer a habilidade do material resistir a tensões externas ou sofrer deformações (ROCHA et al., 1988).

A deformação de um corpo é proporcional à carga aplicada e ocorre até limite de proporcionalidade (LP). Neste ponto, ocorre a deformação elástica e pode-se determinar o módulo de elasticidade (MOE). O Limite de proporcionalidade é definido graficamente com base na diferença de deformação calculada, no ponto onde deixa de ocorrer uma relação linear entre os valores da carga e a deformação (MESKAU, 2010). Além deste limite, um pequeno acréscimo de carga pode provocar a deformação irreversível (deformação plástica), chegando até a ruptura do corpo (MOR).

O MOE e o MOR em flexão estática são parâmetros de grande importância para caracterizar tecnologicamente a madeira, pois ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004).

A compressão paralela às fibras é avaliada com a aplicação de uma carga que efetua pressão na seção transversal axial do corpo-de-prova, sendo que o ensaio é realizado com velocidade controlada até a ruptura do corpo de prova (MORESCHI, 2012). No ensaio de compressão paralela às fibras, a resistência e a rigidez da madeira à compressão são parâmetros que determinam condições importantes para a aplicação estrutural da madeira (LIN et al., 2007).

A dureza é definida como a resistência requerida para um corpo sólido penetrar em outro por meio de esforço, ou como a resistência oferecida pelo material testado à penetração de certo dispositivo (MORESCHI, 2012). Tsoumis (1991) afirma que a dureza no topo da madeira é quase duas vezes maior do que no sentido radial e tangencial. Na madeira, esta propriedade é importante para avaliar a trabalhabilidade com ferramentas e para designar o emprego em móveis e pisos.

Na tabela 1, são apresentados valores médios de resistência ao cisalhamento, compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade no ensaio de compressão, para algumas espécies de *Eucalyptus*:

Tabela 1. Propriedades mecânicas da madeira de algumas espécies de *Eucalyptus*, de acordo com a ABNT (1997).

Espécie	FVo (MPa)	FCo (MPa)	ECo (MPa)
<i>E. camaldulensis</i>	9,0	48,0	13286
<i>E. cloeziana</i>	10,5	51,8	13963
<i>E. dunni</i>	9,8	48,9	18029
<i>E. grandis</i>	7,0	40,3	12813
<i>E. paniculata</i>	12,4	72,2	19881
<i>E. propinqua</i>	9,7	51,6	15561
<i>E. urophylla</i>	8,3	46	13166

FVo (Resistência ao cisalhamento), FCo (Resistência à compressão paralela às fibras), ECo (módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras).CV = 18%.

Segundo Santini et al. (2000) a determinação das propriedades tecnológicas, a partir de ensaios mecânicos é fundamental para verificar sua eficiência no processamento industrial e

estrutural, igualmente para se conhecer os usos mais indicados para madeiras de diferentes espécies.

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

1.4.1 Localização e caracterização da área de estudos

A área de estudos localiza-se no Município de Guarapuava, situada no terceiro planalto paranaense na região Centro – Sul, sob as coordenadas UTM 449938.73m L e 7192325.20m S e 450213.90m L e 7192129.09m, a uma altitude de 1098 metros (Figura 2).

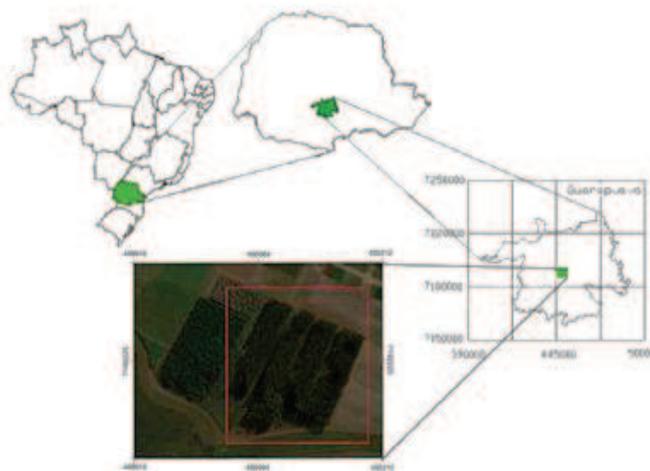


Figura 2. Localização do Município de Guarapuava. Fonte: RODRIGUES, 2012 (Adaptado).

1.4.2 Clima

O clima da região é classificado como subtropical, com temperaturas médias anuais de 16 a 20°C, com inverno frio e ocorrência de geadas severas e frequentes, sem estação seca. As chuvas são abundantes e bem distribuídas durante todo o ano. Devido a essas características, a classificação do clima da região segundo Köppen, é Cfb – clima temperado, com precipitação média anual entre 1800 a 2000 mm (THOMAZ ; VESTENA, 2003).

1.4.3 Solo

Os solos compreendidos na região de Guarapuava- PR são principalmente os latossolos, cambissolo, afloramento rochosos e neossolos litólicos, de acordo com o mapa simplificado de solos do estado do Paraná (EMBRAPA, 2013).

1.4.4 Caracterização geral do experimento

A área de estudos compreende um plantio experimental de *E. benthamii*, com seis anos de idade e área aproximada de 1 ha. A implantação ocorreu ao fim do ano de 2006, na área experimental do Curso de Agronomia no Campus Universitário CEDETEG, da Universidade Estadual do Centro- Oeste.

As mudas utilizadas foram originadas de sementes melhoradas da cultivar EBC 06 Candói, da espécie *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, provenientes da Reflorestadora Golden Tree Ltda.

As operações de preparo do solo consistiram no mínimo revolvimento do solo (cultivo mínimo). O coveamento foi realizado com uso de coveador nas linhas e o plantio foi efetuado manualmente. No momento do plantio, efetuou-se a adubação de base, utilizando-se a adubação na formulação NPK 04-14-08. A aplicação foi feita em covetas laterais, na dosagem de 200g/planta.

O monitoramento e combate a formigas foram feitos pré e pós-plantio, com uso de MIP's (microporta-iscas) na dosagem de 5g/10m², quando verificada a necessidade. Os tratos culturais para o controle do mato-competição foram feitos aos três e seis meses após o plantio, a partir da capina mecânica. Aos dois anos de idade do plantio, realizou-se a desrama até dois metros de fuste limpo.

1.4.5 Delineamento experimental

O ensaio foi instalado no delineamento em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições de vinte árvores mensuráveis em cada unidade amostral. Os tratamentos e as respectivas informações estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Espaçaamentos adotados no plantio experimental de *E. benthamii*

Tratamento	Espaçaamento (m)	Área vital (m ²)	Árvores/hectare	Árvores avaliadas/repetição
1	3 x 2	6	1666	20
2	3 x 3	9	1111	20
3	4 x 3	12	833	20
4	4 x 4	16	625	20

As unidades amostrais foram sorteadas e alocadas aleatoriamente dentro de cada bloco. Cada unidade amostral foi isolada por linhas duplas de bordaduras, de modo a minimizar efeitos de árvores de bordadura nas avaliações (Figura 3).

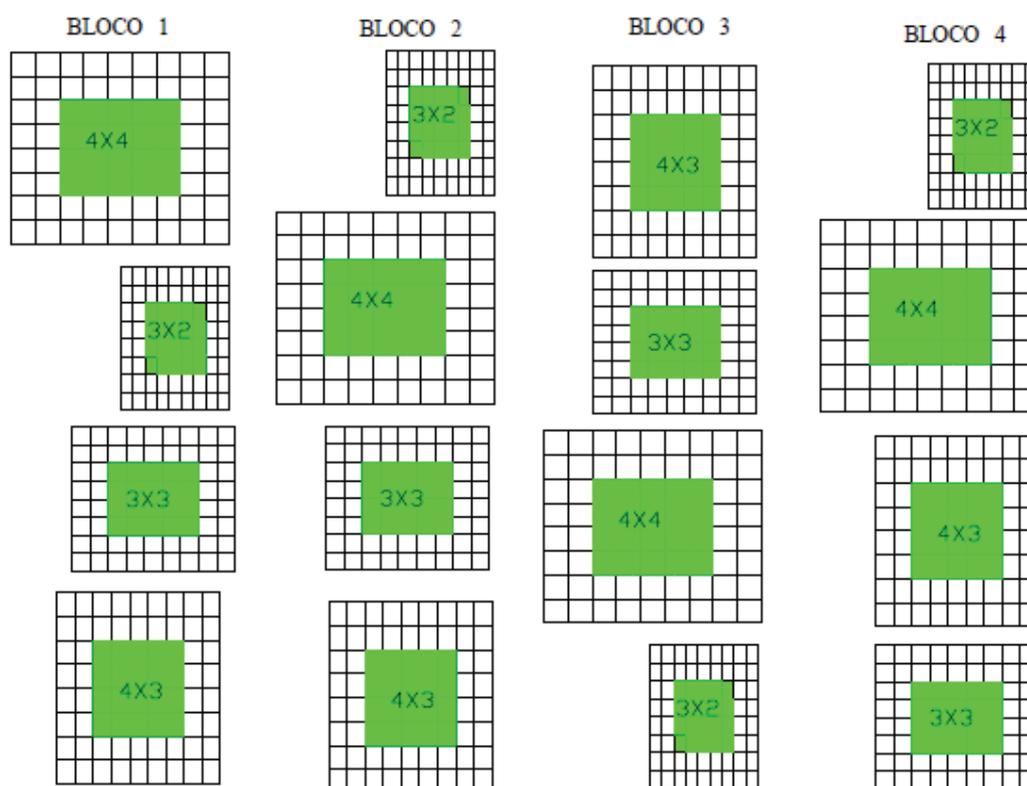


Figura 3. Layout do experimento demonstrando a disposição dos blocos e alocação dos tratamentos

No entanto, devido a um intenso ataque de formigas ocorridas na linha de bordadura da unidade amostral referente ao espaçamento 4 x 4, alocada no bloco 4, optou-se por eliminá-la das análises, de modo a assegurar que não houvesse interferências negativas nos resultados. Assim, no capítulo 2, as análises estatísticas foram realizadas com diferentes números de repetições, tendo o espaçamento 4 x 4 apenas três repetições.

As etapas e sequência de atividades realizadas até a conclusão do trabalho, desde o planejamento das atividades, amostragem, coleta de dados e análise de dados está representada na Figura 4.

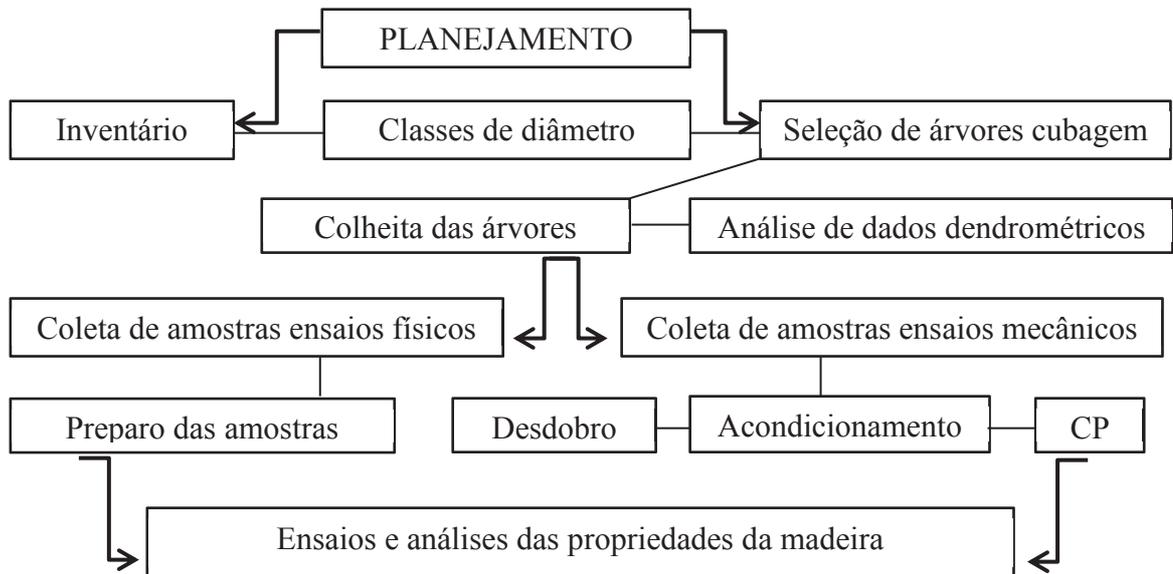


Figura 4. Etapas de realização do trabalho

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF: **Anuário estatístico da associação brasileira de produtores de floresta plantada**. Brasília: ABRAF, ano base 2012. 2013.152p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 7190/97 - Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- ALZATE, S.B.A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S.M. de S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. v. 68, p.87-95, 2005.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. IPEF, Piracicaba. **Série técnica**. v.1, n3,p.1-16. 1980.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n.28, p. 726-731, 1983.
- BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cuninghamia**, v. 1, n. 3, p. 371-383, 1985.
- BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. Sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C.R. Efeito do espaçamento e da adubação no Crescimento de um Clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75- 87, 2002.
- BERTOLA, A. ***Eucalypto: 100 anos de Brasil. “Falem mal, mas continuem falando de mim!”***. Disponível em: < http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- BINKLEY, D.; STAPE, J.L; RYAN, M. G.; BARNARD, H. 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- 406.
- BURGER, D. **Ordenamento Florestal: a produção florestal**. 4. ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus Alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, v.2, n.3, p.129-49, 1971.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A de A.; MELLO, H do A. Densidade básica de Madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex Maiden, aos 3 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n.19, p.63-76, 1979.

BRONDANI, G. E. **Miniestaquia e micropropagação de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Curitiba- PR.

COELHO, A. S. R; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.29-55, 1970.

COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.1, n.2, p.57-71, 1977.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento de madeira serrada de *Pinus taeda* L**. 2005. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR.

DACOSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, República da Argentina**. 2008. 128p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

DOS SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu- SP.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina. Colombo, 1988. 113 p. (EMBRAPA/CNPF. **Documentos, 21**).

EMBRAPA FLORESTAS. **Mapa simplificado de solos do estado do paraná**. Disponível em < http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/mapa_solos_pr.pdf> . Acesso em: 24 set. 2013.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F da,; PINTO, J. R.R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, UFB, 2005, v.7, n.1, 25p.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

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

GALVÃO, A. P. M.; JAKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, 1985.108p.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. IPEF, **Circular Técnica N° 179**, 1991.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, 1999.

GRATAPLAGLIA, D.; PASQUALI, F.; PIRES, I.; DI CIERO, L.; ABRAF.; SBS. **Guia do Eucalipto - Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. CIB, 2008. 20p.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.; LOPES, M de C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.12. n.2. p. 147-152. 2002.

HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. de. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. **Silvicultura**, São Paulo, n. 42, pt. 3, p. 459-461; 1990. In: Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro, 1990, Campos do Jordão - SP.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2003. **Comunicado Técnico N° 100**. 4 p.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaçamento de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011b.

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

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 279 – 291, 2000.

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

LELES, P. S dos S.; REIS, G. G dos. FERREIRA REIS, M das G.; MORAIS, E. J de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulenis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de Cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.77-87, 2001.

- LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106p. Dissertação (Mestrado – Universidade Federal de Viçosa). Viçosa –MG.
- LIN, C. J.; TSAI, M. J.; LEE, C. J.; WANG, S. Y.; LIN, L. D. Effects of ring characteristics on the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of seven softwood species. **Holzforschung**, New York, v. 61, p. 414–418, 2007.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.
- MESKAU, R. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Morus nigra* e potenciais aptidões de uso**. 2009. 59p. (Especialização no curso de Gestão da Indústria Madeireira), Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR.
- MORA, A. L. **Interação com espaçamentos e locais em clones de *Eucalyptus* no norte do Estado da Bahia**. 1986. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de São Paulo - SP.
- MORA, A.L.; GARCIA, C. H. **A cultura do *Eucalyptus* no Brasil**. São Paulo, SBS. 2000, 114p.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. UFPR, 4ª edição. Curitiba, PR. 206 p, 2012.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-395, 2003.
- OLIVEIRA, J. T. S; HELLMEISTER, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v 29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria –RS.
- PALUDZYSZYN FILHO, E. ; SANTO, P. E. T.; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2006. 45p. (Embrapa Florestas, **Documentos**, 129).
- PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A. HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. **Documentos**, 38).
- REZENDE, G. C de. ; SUITER FILHO, W.; MENDES, C. J.; MORAIS, T. S de A. Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp. IPEF, 1981. (**Circular Técnica N° 130**).
- REZENDE, M.A de.; Retratabilidade da madeira de *Pinus caribea* var. hondurensis e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.64, p.120-127, 2003.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso de *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região Sudoeste do Paraná. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v.6, n.1,s/n, 2011.

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

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazônia**, Manaus, v.18, n.1, p.147- 162, 1988.

ROCHA, M. P, 2000. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunni* Maiden como fonte de matéria – prima para serraria. 2000. 157p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica e correlações ambientais em um remanescente de floresta ombrófila mista aluvial em Guarapuava, PR**. 2012. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro – Oeste, Irati- PR.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.85-93, 2000.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.65, p. 120-129, 2004.

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

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. Formação de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74 p. (**Série divulgação PNUD/FAO/IBDF/BRA-45,6**).

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993. 348p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA/FAEPE. 438p. 1998.

SOUZA, V.R de.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L. E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E.saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.65-72, 1986.

SOUZA, D. R. **Efeitos do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. hondurensis até os 16 anos de**

idade. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos Climáticos de Guarapuava – PR**, Ed. Unicentro, Guarapuava, 2003.

TOMAZELLO FILHO, 1985. Variação longitudinal na densidade básica e da estrutura anatômica do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba n.30, p.45-54, 1985.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494p.

VALE, A. B.; PAIVA, H. N.; FELFILI, J. M. Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal. **Boletim Técnico SIF**, n.4, 1982. 20 p.

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

2. *Eucalyptus benthamii* EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

RESUMO

Cristiane Carla Benin. *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos de plantio.

Este capítulo teve por objetivo avaliar o efeito do espaçamento de plantio na produção e nas variáveis dendrométricas, em plantio experimental com sementes melhoradas da espécie *E. benthamii*, aos seis anos de idade. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições de vinte árvores. Os tratamentos foram quatro espaçamentos de plantio 3 x 2, 3 x 3, 4 x 3 e 4 x 4m. Após os procedimentos em campo (inventário florestal, amostragem e cubagem de 79 árvores), obtiveram-se os principais parâmetros dendrométricos em cada espaçamento. As alturas foram determinadas por relação hipsométrica e o volume das demais árvores do povoamento foi estimado pela modelo de Schumacher - Hall. Após atender as premissas estatísticas, realizou-se a ANOVA para avaliar as variáveis dendrométricas (DAP, altura total, área transversal, área basal, volume.arv⁻¹, volume.ha⁻¹), sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey. As correlações entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento foram avaliados a partir do coeficiente de correlação linear de Pearson, ao nível de 95% de probabilidade de confiança. Os resultados demonstraram a ocorrência de maiores alturas nos espaçamentos mais amplos. Em relação ao desenvolvimento do DAP, verificou-se que o acréscimo desta variável ocorre em função da maior disponibilidade de área útil para as plantas. A área transversal e o volume individual apresentaram valores médios inferiores em função dos espaçamentos menores. A taxa de ocupação e o volume.ha⁻¹, decresceram com o aumento do espaçamento, sendo que os maiores valores foram verificados nos espaçamentos menores, com 3 x 2 e 3 x 3m. A correlação linear detectou alto grau de dependência entre algumas variáveis dendrométricas com o espaçamento. Concluiu-se que houve efeito do espaçamento do plantio, observando-se algumas tendências sobre as variáveis estudadas e a produção da floresta.

Palavra- chave: Florestas plantadas, espaço vital, produção florestal.

ABSTRACT

Cristiane Carla Benin. *Eucalyptus benthamii* in different planting spacings.

This chapter aimed to evaluate the effect of planting spacing in production and dendrometric variables in experimental planting improved seeds of the species *E. benthamii*, at six years of age. The experimental design was a randomized block with four replications of twenty trees. The treatments were four spacings: 3 x 2, 3 x 3, 4 x 3 and 4 x 4m. After the procedures in the field (forestry inventory, sampling and cubage of 79 trees), were obtained the main dendrometric parameters in each spacing. The heights were determined by hypsometric relation and the volume of other trees of the stand was estimated by Schumacher-Hall model. After the statistical assumptions, ANOVA was carried out to evaluate the dendrometric variables (DBH, total height, cross-sectional area, basal area, volume.arv⁻¹, volume.ha⁻¹) and treatment average were compared by testing Tukey. The correlations between dendrometric variables and vital space were evaluated from the linear correlation coefficient of Pearson, the 95% level of probability. Results showed the occurrence of greater heights in the wider spacings. Regarding the development of the DBH, it was found that the addition of this variable is a function of increased availability of floor area for plants. The cross-sectional area and individual volume showed lower average values due to smaller spacings. The basal area and volume.ha⁻¹, decreased with increasing the vital space, while the highest values were observed in the smaller spacing with 3 x 2 and 3 x 3m. The linear correlation detected high degree of dependence between some dendrometric variables with the vital space. It was concluded that there was effect of spacing, observing some trends on these variables and forestry production.

Keyword: Planted Forests, vital space, forestry production.

2.1 INTRODUÇÃO

O suprimento de madeira e de produtos florestais está alicerçado às florestas plantadas. O retorno da cadeia produtiva de base florestal e a busca pela sustentabilidade na utilização dos recursos naturais e nos sistemas de produção enfatizam a utilização de matéria-prima florestal proveniente de plantios florestais.

Associado a este cenário, a capacidade de produção, utilização da madeira e o ciclo de corte, são fatores essenciais na definição da espécie a ser plantada. Assim, as espécies do gênero *Eucalyptus* spp. têm relevância na composição dos reflorestamentos em escala comercial, principalmente pelas amplas possibilidades de utilização de sua madeira, pelo rápido crescimento e boa produtividade.

Na região sul do Brasil, a espécie *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage vêm sendo plantada em maior escala nos últimos anos. As características silviculturais e de modo singular a tolerância à incidência de frequentes geadas no inverno, destacam o uso da espécie nesta região.

Além das particularidades da espécie e da região em que se implanta uma floresta, outro fator decisivo da produção florestal concerne ao espaçamento de plantio. O espaçamento determina a forma de crescimento de uma floresta e algumas alterações nos parâmetros dendrométricos e também nas propriedades da madeira. A definição do espaçamento deve propiciar espaço suficiente ao bom crescimento das árvores e aproveitamento do sítio florestal.

Desde o início dos reflorestamentos com *Eucalyptus* em escala comercial no Brasil, vêm-se estudando o efeito do espaçamento no crescimento das variáveis dendrométricas e suas implicações na produção florestal. O comportamento de diferentes espécies face ao espaçamento adotado e novas técnicas de espaçamento (COELHO et al., 1970; REZENDE et al., 1981), a interação espaçamento x custos de produção (MELLO et al., 1972) e a influência do espaçamento e de outros fatores sob a qualidade do produto final obtido também foram investigados, no âmbito de se encontrar respostas quanto aos efeitos do espaçamento e a determinação dos espaçamentos ideais em cada situação.

Estes estudos descreveram algumas tendências do crescimento da floresta em função do espaçamento, podendo-se destacar o desenvolvimento do diâmetro, altura e volume, determinados pelo número de árvores em um hectare.

No entanto, diante do contexto florestal atual, contemplando principalmente os aspectos do melhoramento florestal e tecnologias agregadas à formação de floresta, torna-se evidente a importância de novos ensaios com espaçamentos para conhecer a possibilidade de ganhos, seja para uma determinada espécie, para determinada região ou para a interação de condições que determinam a produção florestal.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo geral

Estudar o efeito de diferentes espaçamentos de plantio na produção e no desenvolvimento das variáveis dendrométricas em plantio experimental de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

2.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a correlação entre as variáveis dendrométricas com o espaçamento de plantio;
- b) Avaliar o efeito do espaçamento de plantio sobre o diâmetro, altura total, área transversal, área basal, volume.arv⁻¹ e volume. ha⁻¹.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Caracterização da área

A descrição detalhada da área de estudos encontra-se no Capítulo 1.

2.3.2 Amostragem e coleta de dados

O estudo foi realizado com dados correspondentes aos seis anos de idade, a partir da medição de um plantio experimental de *E. benthamii*. Todas as circunferências à altura do peito das árvores (censo) foram mensuradas com fita métrica e obtidos os diâmetro a altura do peito (DAP).

Os valores de DAP foram agrupados por classes de diâmetro. Para tanto se utilizou a fórmula de Sturges na determinação do número de classes. Os limites inferiores e superiores dos dados foram definidos ordenando-se de forma crescente todos os diâmetros, em cada espaçamento. A fórmula de Sturges está descrita na expressão 1:

$$K = 1 + 3,33 * \log (n) \quad (1)$$

Em que:

K= número de classes

n = número de observações

As árvores para a cubagem foram selecionadas nas cinco classes com maior frequência de árvores, em cada espaçamento. Também foram amostradas proporcionalmente, árvores finas e árvores grossas (classes inferiores e classes superiores às classes de maior frequência, nos espaçamentos que as contemplavam), totalizando 79 árvores cubadas.

2.3.3 Dados dendrométricos

2.3.3.1 Cubagem rigorosa

As seções de cubagem foram definidas pelo método relativo, considerando duas posições absolutas (base e DAP). Assim, os pontos de amostragem para a tomada dos diâmetros foram: 0,10 m; 1,30 m; 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95% da altura total da árvore. O volume de cada seção foi calculado pelo método de Smalian.

2.3.3.2 Relação hipsométrica

Com base nas alturas reais, obtidas de 79 árvores por meio da cubagem, testaram-se três modelos hipsométricos, os quais estão descritos na Tabela 3. O modelo com melhor ajuste foi selecionado para a estimativa das demais alturas.

Tabela 3. Modelos hipsométricos testados

Modelos hipsométricos	
Stafells (1953)	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$
Parabólico	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$
Henrickson (1950)	$h = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$

2.3.3.3 Área transversal e área basal

Foi calculada a área transversal de cada árvore e a área basal para cada espaçamento foi calculada pelo produto da área transversal média e o número de árvores estimadas nesse espaçamento.

2.3.3.4 Volume individual e volume por hectare

Inicialmente realizou-se a análise de variância para verificar possíveis diferenças entre o volume real das árvores amostradas em cada espaçamento (ANEXO 1). Uma vez que não houve diferença estatística entre os volumes reais das árvores amostradas entre os espaçamentos estudados, ajustou-se o modelo de Schumacher – Hall:

$$\ln vol = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_3 * \ln H \quad (2)$$

Em que:

$\ln vol$ = logaritmo neperiano do volume (m^3)

β_0 ; β_1 ; β_3 = Coeficientes do modelo

$\ln DAP$ = logaritmo neperiano do diâmetro à altura do peito

$\ln H$ = logaritmo da altura total (estimada por relação hipsométrica)

O volume por hectare foi obtido pela multiplicação do valor do volume médio de cada árvore pelo número de árvores por hectare, estimado em cada espaçamento.

2.3.4 Avaliações estatísticas

2.3.4.1 Avaliação dos ajustes

Para avaliar os ajustes dos modelos foram observados conjuntamente os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), erro padrão da estimativa (Syx), erro percentual ($Syx\%$) e a distribuição gráfica dos resíduos.

2.3.4.2 Correlação linear entre variáveis dendrométricas e espaçamento de plantio

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento de plantio. O valor de r varia de -1 a +1 e a interpretação dos resultados teve como base as considerações feitas por SILVA (1999a), conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Interpretações dos coeficientes de correlação de Pearson

Situação	Interpretação
Se $r = -1$	O grau de ajustamento é perfeito com todos os pontos sobre a reta, que tem um sentido decrescente.
Se $r = 1$	O grau de ajustamento é perfeito com todos os pontos sobre a reta, que tem um sentido crescente.
Se $r = 0$	Caso teórico, há uma ausência total de relação entre as variáveis.
Se $0 < r < 1$	Não se verifica um ajuste perfeito da reta, porém se percebe um sentido de positivo nas relações das variáveis.
Se $-1 < r < 0$	Não se verifica um ajuste perfeito da reta, porém se percebe um sentido negativo nas relações das variáveis.

2.3.4.3 Análise estatística

O efeito do espaçamento de plantio foi testado sobre os parâmetros dendrométricos altura total (m), diâmetro à altura do peito (cm), área transversal (m²), área basal (m².ha⁻¹), volume .arv⁻¹ (m³) e volume. ha⁻¹ (m³.ha⁻¹).

Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade das variâncias (*Bartlett*), de modo a assegurar as premissas necessárias à realização da análise de variância. Em seguida, procedeu-se a análise de variância (ANOVA). Quando a hipótese de nulidade foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey. As análises foram realizadas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Relação hipsométrica

As estatísticas dos modelos hipsométricos testados são apresentados na Tabela 5. O modelo de Stafells apresentou estatísticas inferiores ao modelo parabólico e ao modelo de Henrickson, embora tenha apresentado uma distribuição de resíduos livre de tendências (Figura 5).

O modelo Parabólico, por sua vez, apresentou o maior coeficiente de determinação (0,87) e os menores valores de erro padrão da estimativa (1,44 m) e erro percentual (6,27%). A distribuição gráfica dos resíduos deste modelo também foi considerada satisfatória (Figura 5). Com base nisso, o modelo parabólico ajustado foi selecionado para estimar as demais alturas das árvores do povoamento.

Tabela 5. Coeficientes e estatísticas dos modelos hipsométricos testados

Modelo	Coeficientes	R ² ajustado	Syx (m)	Syx (%)
Stafells (1953) $Ln h = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	$\beta_0 = 1,4132$ $\beta_1 = 0,60330$	0,79	1,71	7,68
Parabólico $h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	$\beta_0 = -1,9010$ $\beta_1 = 2,3217$ $\beta_2 = -0,0479$	0,87	1,44	6,27
Henrickson (1950) $h = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	$\beta_0 = -9,21$ $\beta_1 = 11,4115$	0,85	1,53	6,51

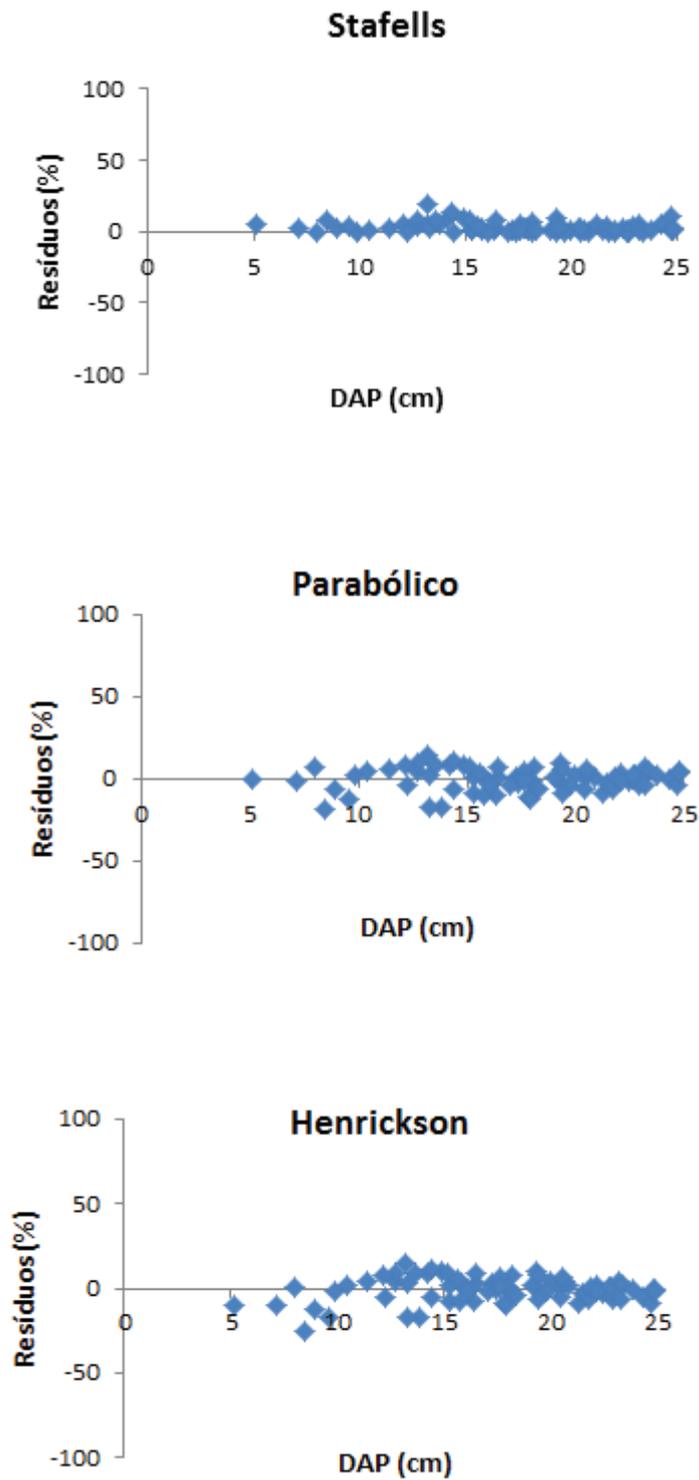


Figura 5. Distribuição gráfica de resíduos para os modelos hipsométricos ajustados

2.4.2 Relação volumétrica

As estatísticas do ajuste do modelo volumétrico de Schumacher – Hall estão apresentadas na Tabela 6. Os valores do coeficiente de determinação (0,98), do erro padrão da estimativa (0,023 m³) e do erro percentual (7,82 %) associadas a distribuição de resíduos foram consideradas satisfatórias aos dados do presente estudo. Com base na Figura 6, foi possível observar algumas tendências na estimativa do volume, as quais foram mais visíveis para as menores classes de diâmetro, no entanto não impactaram na utilização do modelo para a estimativa dos demais volumes do povoamento de *Eucalyptus benthamii*.

Tabela 6. Modelo de Schumacher- Hall ajustado e as respectivas estatísticas

Schumacher – Hall ajustado	R ² ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)
$\ln V = -10,3242 + 1,7377 * \ln DAP + 1,2060 * \ln HT$	0,98	0,023	7,82

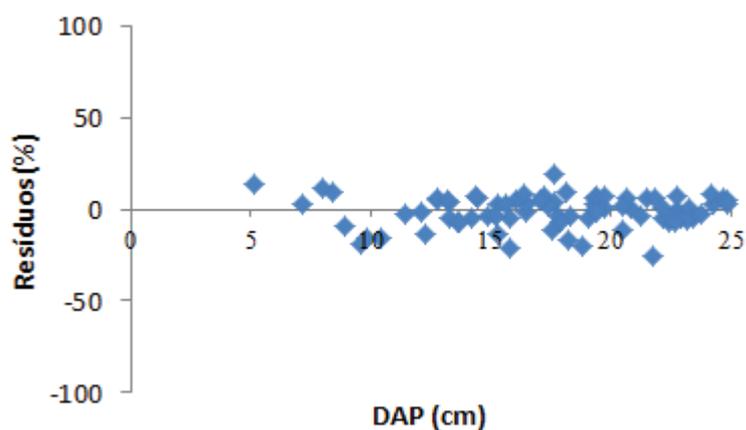


Figura 6. Distribuição gráfica de resíduos para o modelo volumétrico de Schumacher- Hall.

2.4.3 Correlação linear entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento

As correlações entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento entre plantas são apresentadas na tabela 7. O coeficiente de correlação de Pearson, não apresentou significância estatística entre a altura total e espaçamento de plantio ($p > 0,05$). Tal fato pode ser explicado

pela pouca influência que o espaçamento exerce sobre a altura média das plantas, embora em alguns casos possam ser detectadas diferenças entre espaçamentos reduzidos e amplos.

Tabela 7. Correlação linear entre as variáveis dendrométricas e o espaçamento, em plantio experimental de *E. benthamii*, aos seis anos de idade.

Variáveis	r	p - valor
Altura total (m) x espaçamento (m)	0,92	0,0793 ^{ns}
DAP (cm) x espaçamento (m)	0,98	0,0232*
Área transversal (m ²) x espaçamento (m)	0,98	0,0181*
Área basal (m ² . ha ⁻¹) x espaçamento (m)	-0,93	0,0676 ^{ns}
Volume individual (m ³ . arv ⁻¹) x espaçamento (m)	0,98	0,0160*
Volume total. ha ⁻¹ (m ³ . ha ⁻¹) x espaçamento (m)	-0,96	0,0357*

r = Coeficiente de correlação de Pearson. ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. * significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação ao DAP, observou-se uma relação linear positiva com o espaçamento ($r = 0,98$). Este resultado detecta a afinidade entre o diâmetro e o espaçamento, ou seja, como o espaçamento tem efeito sobre o desenvolvimento do diâmetro, podendo seguir algumas tendências, das quais se pode destacar o acréscimo do diâmetro em função do aumento do espaçamento de plantio.

Para o espaçamento e a área transversal, o coeficiente de Pearson apontou relação linear positiva ($r = 0,98$). Já em relação à área basal (m².ha⁻¹), o coeficiente de correlação não foi significativo ($p > 0,05$) (Tabela 7). O fato de não haver significância estatística da relação linear entre área basal (m². ha⁻¹) x espaçamento (m) pode estar associado à idade do plantio, pois ao se tratar de espaçamentos mais amplos e com pouca idade, as plantas ainda estão em processo de ocupação da área e não há indícios de competição entre elas.

Com relação ao volume, alta correlação linear positiva foi constatada entre o espaçamento e o volume individual ($r = 0,98$). Isso explica que o aumento do volume individual é proporcional ao aumento do espaçamento, como ocorre também com o diâmetro à altura do peito.

Para o volume. ha⁻¹, o coeficiente de Pearson (-0,96) apontou forte correlação linear negativa (Tabela 7). Isto explica a afinidade do espaçamento com a produção volumétrica e

também a tendência de que a produção volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) é decrescente com o aumento do espaçamento entre plantas.

2.4.4 Variáveis dendrométricas

Para todas as variáveis estudadas foi comprovada a normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias, a um nível de significância 5% de probabilidade de erro. Não se registrou diferença estatística entre os blocos para nenhuma das variáveis analisadas ($p > 0,05$).

2.4.4.1 Diâmetro

Diferenças significativas foram registradas sobre o DAP médio das árvores de *Eucalyptus benthamii*, em função dos diferentes espaçamentos de plantio adotados ($p < 0,05$). Aos seis anos de idade, os maiores valores médios de diâmetro foram observados nos espaçamentos mais amplos, com valores médios de 20,64 cm no espaçamento 4 x 4 m e 19,80 cm no espaçamento 4 x 3 metros entre plantas (Tabela 8). O espaçamento mais adensado neste estudo (3 x 2 m) apresentou valor médio do diâmetro inferior aos demais espaçamentos (16,19 cm), no entanto não diferiu estatisticamente do valor médio encontrado no espaçamento 3 x 3 m, cujo valor foi de 17,64 cm, conforme observado na Tabela 8.

Tabela 8. Diâmetro médio de árvores de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	DAP médio (cm)
3 x 2	16,19 ± 4,05* c
3 x 3	17,64 ± 4,00 bc
4 x 3	19,80 ± 3,80 ab
4 x 4	20,64 ± 4,74 a
CV (%)	5,78

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação * Desvio padrão dos dados em cada espaçamento

Os resultados encontrados corroboram com as conclusões de outros estudos de espaçamentos em que o aumento do diâmetro foi proporcional ao aumento da área vital entre plantas. Sanqueta et al. (2003) verificaram que o DAP foi fortemente afetado pelo efeito do espaçamento em um plantio experimental de *Pinus taeda* na região de Jaguariaíva. Os autores

observaram que os efeitos sobre o diâmetro foram mais pronunciados com o aumento da idade, principalmente entre o maior (2,5 x 4 m) e menor espaçamento adotado (2,5 x 1,2 m).

No município de Irati- PR, em um experimento avaliando o desenvolvimento de *Pinus taeda* em nove espaçamentos com áreas vitais variando de 1 a 16 m² entre plantas não foi possível identificar diferenças no crescimento em diâmetro entre os tratamentos, aos quatro anos de idade (INOUE et al., 2011a). Entretanto, aos sete anos de idade, comprovou-se a influência do espaçamento de plantio sobre o diâmetro das árvores. Neste estudo foi possível definir três grupos distintos quanto ao desenvolvimento da variável diâmetro. Espaçamentos mais adensados, com área vital variando de 1 a 7,5 m² mostraram que o diâmetro foi crescente com o aumento do espaçamento. Nos espaçamentos com 7,5 a 10,5 m² os valores de diâmetro apresentaram-se semelhantes estatisticamente. Já para espaçamentos mais amplos (entre 12 e 16 m²) registraram-se os maiores valores médios de diâmetro para a espécie (INOUE et al., 2011b).

Para espécies do gênero *Eucalyptus*, notou-se que os espaçamentos mais amplos potencializaram o desenvolvimento do diâmetro das árvores em um híbrido interespecífico *E. grandis* x *E. urophylla*, em um experimento instalado no delineamento do tipo leque. O maior valor médio de diâmetro registrado no espaçamento mais amplo (3 x 5,25m) foi de 20,91 cm, aos seis anos de idade (DOS SANTOS, 2011).

Muller et al. (2005) verificaram relação direta entre o aumento do diâmetro em função do aumento do espaçamento entre plantas ao estudar um híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, com enfoque energético. O bom desenvolvimento desta variável nos espaçamentos mais amplos está associado ao eficiente aproveitamento dos recursos disponibilizados a cada planta, sem que ocorra competição por espaço, luz, água e nutrientes, como muitas vezes ocorre nos espaçamentos mais adensados.

Outros estudos também relataram o favorecimento no crescimento diamétrico pela adoção de espaçamentos mais amplo em plantios com espécies do gênero *Eucalyptus*. Dentre eles merecem destaque as pesquisas de Couto et al. (1977), Balloni e Simões (1980); Leles et al. (2001); Berger et al. (2002), dentre outros.

2.4.4.2 Altura total

Registrou-se diferença significativa no crescimento em altura entre os espaçamentos avaliados ($p < 0,05$). Para o menor espaçamento avaliado (3 x 2 m), registrou-se o menor

valor médio de altura total (22,35 m). Já no espaçamento com 3 x 3 m, a altura média registrada foi de 23,36 m, o qual não diferiu estatisticamente dos espaçamentos 3 x 2, 4 x 3 e 4 x 4m. Os espaçamentos 4 x 3 e 4 x 4m mostraram crescimento em altura estatisticamente igual. Ao contrário da tendência citada na literatura, neste estudo, os maiores espaçamentos foram os que apresentaram as maiores alturas, nas avaliações aos seis anos de idade (Tabela 9).

Tabela 9. Altura total média de árvores de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	Altura total (m)
3 x 2	22,35 ± 3,69 * b
3 x 3	23,36 ± 3,10 ab
4 x 3	24,58 ± 2,10 a
4 x 4	24,62 ± 3,15 a
CV (%)	3,03

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação * Desvio padrão dos dados em cada espaçamento.

Outros estudos também relatam sobre maiores alturas nos espaçamentos com maior área vital por planta e comprovam a afirmação de que em que alguns casos a altura média das árvores tende a aumentar de acordo com a amplitude do espaçamento (EVERT, 1971), citado por (BALLONI ; SIMÕES, 1980).

Dos Santos (2011) verificou comportamento crescente da altura em função do aumento do espaçamento em um ensaio de espaçamentos conduzidos para um clone híbrido interespecífico (*E. grandis* x *E. urophylla*), nas avaliações aos seis anos de idade.

Nas avaliações de crescimento do clone híbrido de *E. camaldulensis* x *E. urophylla* na região Noroeste de Minas Gerais, pouca variação em altura foi verificada entre os cinco espaçamentos estudados. De modo geral, os maiores valores registrados para esta variável corresponderam aos espaçamentos com área vital igual ou superior a 18 m² (6 x 3, 6 x 4 e 12 x 2,5 m) (MORAIS, 2006).

As avaliações de altura total para clones híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* no Estado de São Paulo demonstraram efeito positivo do aumento do espaçamento. Aos seis anos de idade, a média da altura no maior espaçamento estudado (15 m²) foi cerca de 14,9 % superior em relação ao menor espaçamento (6m²) (SILVA, 2005).

Ao se tratar de espaçamentos mais amplos não se pode verificar influência da competição entre as plantas e seus reflexos no crescimento em altura. Apesar do efeito dos

maiores espaçamentos na altura média das árvores, pode-se confirmar que a altura média das árvores é pouco influenciada pelo espaçamento de plantio.

2.4.4.3 Área transversal

Foram observadas diferenças significativas na área transversal entre os espaçamentos de plantio ($p < 0,05$). Os valores médios de área transversal por árvore apresentaram diferenças estatísticas entre o espaçamento mais amplo e o espaçamento reduzido, confirmando o efeito do espaçamento sobre o desenvolvimento desta variável (Tabela 10).

Nos espaçamentos mais amplos 4 x 4 e 4 x 3m, as áreas transversais médias foram de 0,0349 e 0,0319 m², enquanto no menor espaçamento estudado o valor médio registrado foi de 0,0230 m². Isso mostra a diferença na taxa de ocupação de cada árvore em função do diâmetro da árvore, o qual é determinado pelo espaçamento de plantio adotado.

As áreas transversais médias dos espaçamentos 3 x 3m (0,0257m²) e 4 x 3m (0,0319 m²) foram semelhantes estatisticamente. Ainda verificou-se semelhança estatística entre as áreas transversais dos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m e entre os espaçamentos 4 x 3 e 4 x 4m (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios de área transversal (m²) de árvores de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	Área transversal (m ²)
3 x 2	0,0230 ± 0,0097* c
3 x 3	0,0257 ± 0,0106 bc
4 x 3	0,0319 ± 0,0114 ab
4 x 4	0,0349 ± 0,0137 a
CV (%)	10,29

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação * Desvio padrão dos dados em cada espaçamento.

2.4.4.4 Área basal

Nas avaliações da área basal no plantio experimental de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, detectou-se diferença significativa entre os espaçamentos estudados ($p < 0,05$). Notou-se um decréscimo dos valores médios de área basal (m². ha⁻¹) em função do aumento do espaçamento de plantio. Os valores variaram de 38, 35; 28,56; 26,6 e 21,51 m².ha⁻¹, para os respectivos espaçamentos 3 x 2; 3 x 3; 4 x 3 e 4 x 4m. Os valores médios de área basal para os espaçamentos 4 x 4 e 4 x 3m foram estatisticamente iguais. O espaçamento 4 x 3 não diferiu estatisticamente do espaçamento 3 x 3 em termos de área basal (Tabela 11). A maior

estimativa de área basal encontrada no espaçamento mais reduzido foi favorecida pela presença de maior número de indivíduos por unidade de área.

Tabela 11. Valores médios de área basal por hectare ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) em plantio experimental de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	Área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)
3 x 2	38,35 a
3 x 3	28,56 b
4 x 3	26,60 bc
4 x 4	21,51 c
CV (%)	9,58

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV %- Coeficiente de variação.

De acordo com Schneider (1993), a área basal em plantios florestais é dependente do diâmetro médio e do número de indivíduos por unidade de área. Desta maneira, plantios com maior densidade populacional apresentam valores médios de área basal superior, até o momento que se verifique a competição entre os indivíduos do povoamento e seja notável decréscimo no valor desta variável.

Na região noroeste do Estado de Minas Gerais em plantios com *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, a autora constatou valores médios de área basal decrescente de acordo com o aumento do espaçamento, sendo que os maiores valores de área basal observados foram para o espaçamento com 6 m^2 , com 31,11 $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, nas avaliações aos 84 meses de idade (MORAIS, 2006).

Leite et al. (2006) verificaram que até os oito anos de idade as maiores estimativas de área basal em plantio de *Pinus taeda* foram verificadas conforme o menor espaçamento entre plantas. A mesma tendência no comportamento da área basal foi registrada para *E. nitens*, onde os maiores valores médios de área basal foram registrados para os espaçamentos mais adensados (com lotação acima de 1000 plantas. ha^{-1}). O espaçamento mais amplo (5 x 4m) teve o menor valor de área basal neste estudo (PINKARD; NEILSEN, 2003).

2.4.4.5 Volume individual com casca

Diferenças significativas para o volume individual com casca foram registradas entre os espaçamentos de plantio avaliados ($p < 0,05$). O volume médio individual apresentou diferença entre o espaçamento mais amplo e o espaçamento mais reduzido (Tabela 12).

Os maiores volumes médios individuais registrados foram 0,3856 m³.arv⁻¹ no espaçamento 4 x 4m, seguido de 0,3523 m³. arv⁻¹ no espaçamento 4 x 3m, entretanto, não registrou-se diferença estatística entre estes espaçamentos. O volume individual verificado nos espaçamentos 4 x 3m e 3 x 3m também foram estatisticamente semelhantes. Para o espaçamento mais reduzido registrou-se 0,2353 m³. arv⁻¹, não diferindo do volume encontrado no espaçamento com 3 x 3 m, cujo valor médio foi de 0,2805 m³. ár⁻¹.

Tabela 12. Volume médio individual de árvores de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	Volume. arv ⁻¹ (m ³ .arv ⁻¹)
3 x 2	0,2353 ± 0,1175* c
3 x 3	0,2805 ± 0,1253 bc
4 x 3	0,3523 ± 0,1313 ab
4 x 4	0,3856 ± 0,1545 a
CV (%)	11,51

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV %- Coeficiente de variação. * Desvio padrão dos dados em cada espaçamento.

Esta diferença registrada no volume individual de cada árvore é explicada pelas diferenças no desenvolvimento do diâmetro das árvores, em função do espaçamento. Assim, os espaçamentos que favoreceram o desenvolvimento do diâmetro foram os que registram árvores com maior volume individual.

Os resultados desta variável vem ao encontro do trabalho de Berger et al. (2002), no qual os autores verificaram que os maiores volumes comerciais individuais para um clone de *E. saligna* corresponderam aos espaçamentos mais amplos, independente da idade de avaliação. Silva (2005) observou que o volume individual de indivíduos híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* no maior espaçamento (15 m².planta⁻¹) foi praticamente o dobro do menor espaçamento adotado em seu estudo (6m².planta⁻¹) nas avaliações do clone aos seis anos de idade no Município de Altinópolis- SP. Magalhães et al. (2006) também confirmaram que o volume individual foi mais expressivo com o aumento do espaçamento entre plantas para as quatro espécies de *Eucalyptus* estudadas.

Os valores do volume médio individual observado no presente estudo, independente do espaçamento, expressam a boa adaptação e produtividade volumétrica do *E. benthamii* na região de Guarapuava- PR. Entretanto, quando comparados ao trabalho de Lima et al. (2011) apresentam-se inferiores ao volume real médio encontrado para árvores de *E. benthamii*, cujo valor foi de 0,527 ± 0,125 m³.arv⁻¹, na mesma região e idade de avaliação.

2.4.4.6 Volume por hectare

Observaram-se diferenças significativas no volume por hectare em função dos espaçamentos de plantio avaliados ($p < 0,05$). Nos espaçamentos menores observou-se maior produção por área, aos seis anos de idade (Tabela 13).

No espaçamento com 1666 arv. ha⁻¹, o volume médio por hectare foi de 392,08m³. ha⁻¹ e o espaçamento com 1111 arv.ha⁻¹ apresentou volume médio de 311,68 m³.ha. Estes resultados mostram que para esta variável (vol.ha⁻¹), os espaçamentos 3 x 2 e 3 x 3 são estatisticamente iguais (Tabela 13).

O espaçamento com 625 arv. ha⁻¹, embora apresentando árvores com maior volume médio individual, teve a menor produtividade volumétrica registrada (238,90 m³. ha⁻¹), no entanto não diferiu do espaçamento com 833 arv.ha⁻¹, no qual a produção volumétrica registrada foi igual a 293,5 m³. ha⁻¹, na idade avaliada (Tabela 13).

Tabela 13. Volume por hectare de árvores de *E. benthamii*, aos seis anos de idade, em função de quatro espaçamentos de plantio.

Espaçamento (m)	Volume. ha ⁻¹ (m ³ .ha ⁻¹)
3 x 2	392,08 a
3 x 3	311,68 ab
4 x 3	293,50 b
4 x 4	238,90 b
CV (%)	13,09

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação.

Em termos percentuais, a produção volumétrica no menor espaçamento (3 x 2 m) foi cerca de 39 % superior em relação ao maior espaçamento adotado (4 x 4 m) e 25,14 % superior à produtividade média do espaçamento com 4 x 3 m.

Lima (2013) verificou menor produtividade volumétrica no espaçamento com 16 m² de área vital em um plantio experimental de *Pinus Taeda* L., implantados em nove diferentes espaçamentos. O autor associa esta observação ao menor número de árvores por hectare, com a adoção deste espaçamento.

Para *E. grandis* a redução da densidade populacional causou efeitos negativos na produção volumétrica. No entanto, estes efeitos sobre a produtividade foram minimizados com o progresso da idade da floresta (LEITE et al., 1997).

As pesquisas realizadas por Gomes et al. (1997); Muller et al. (2005); Reiner et al. (2012), Leles et al. (2001), Silva (2005), dentre outros estudos recentes, reafirmaram que a

maior produtividade volumétrica ocorre nos plantios mais adensados, ou seja, nos casos de maior densidade populacional por hectare.

De maneira geral, os resultados deste estudo apontam para o planejamento da produção em função do espaçamento de plantio. Quando se deseja obter árvores de maior diâmetro, maior volume individual, o indicado é a adoção de espaçamentos mais amplos e com rotações mais longas. Por outro lado, os espaçamentos menores entre plantas devem ser priorizados quando a finalidade é alta produtividade volumétrica em um hectare, por exemplo, para a produção de biomassa. Em situações que o silvicultor não tem um destino final definido para a produção florestal, o mais adequado é que sua escolha esteja entre espaçamentos com lotações intermediárias (1666 a 2500 plantas. ha⁻¹). Neste caso, os custos de implantação e condução da floresta e as alternativas do regime de manejo mais indicadas também devem ser previstas para que se garanta um bom retorno do empreendimento.

2.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Houve efeito do espaçamento de plantio sobre as variáveis dendrométricas e a produção florestal na idade avaliada, sendo que:

O diâmetro, a área basal e o volume mostraram-se correlacionadas e dependentes do espaçamento de plantio.

Maiores valores médios de altura, diâmetro, área transversal e volume individual⁻¹ foram verificados nos espaçamentos mais amplos;

Os espaçamentos mais adensados favoreceram os valores médios de área basal.ha⁻¹ e a produção.ha⁻¹.

Sugere-se que novos estudos de espaçamentos sejam realizados com *E. benthamii*, devido ao interesse que se têm pela espécie. Nas pesquisas futuras, é de grande valia que além de avaliações da produção volumétrica sejam realizadas análises econômicas, com informações sobre o valor presente líquido, taxa interna de retorno e viabilidade econômica do projeto, com análises específicas para cada espaçamento estudado.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. IPEF, Piracicaba. **Série técnica**. v.1, n3,p.1-16. 1980.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C.R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um Clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75- 87, 2002.
- COELHO, A. S. R; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.29-55, 1970.
- COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.1, n.2, p.57-71, 1977.
- DOS SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP- Botucatu- SP.
- INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J de.; LIMA, R. Crescimento juvenil de *Pinus taeda* em função do espaçamento de crescimento. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n.1 p. 57-62, 2011a.
- INOUE, M. T; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaçamento de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011b.
- LIMA, E. A de.; SILVA, H. D da.; LAVORANTI, O. J.; Caracterização dendroenergética das árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.1, n. 65, p.9-7. 2011.
- LIMA, R. INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J de.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.20, n.2, p.223-230, 2013.
- LEITE, F. P.; BARROS, N.F de.; NOVAIS, R.F de.; SANS, L.M. A.; FABRES, A.S.; Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v 21, n.3, p.313-321, 1997.
- LEITE, H. G. *et al.* Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, n.30, v.4, p.603-612, 2006.
- LELES, P. S dos S.; REIS, G. G dos. FERREIRA REIS, M das G.; MORAIS, E. J de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de Cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.77-87, 2001.

MAGALHÃES, W.S.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; HIGASHIKAWA, E.M.; YOSHITANI JUNIOR, M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus spp.* em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.12, n.2, p.01-07, 2006.

MELLO, H. A. COELHO, A. S. R.; CIERO NETO, A.; SIMÕES, J. W.; BERGER, R.; COUTO, H. T. Z. A influência da espécie do espaçamento e da idade no custo de produção de madeira industrial. **IPEF**, Piracicaba, n.5, p.17-28, 1972.

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

MULLER, M.D.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; BRITO, J.O.; Avaliação de um clone de *Eucalypto* estabelecido em diferentes densidades de plantio para a produção de biomassa e energia. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.2, n.3, p. 177- 186, 2005.

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**, v.172, n.2/3, p.215-227, 2003.

REINER, D.A.; SILVEIRA, E.R.; FERRONATO, M de L.; MENEGASSI, A.D. Desenvolvimento de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos de plantio em Pato Branco- Paraná. In: 4º Congresso Florestal Paranaense. **Anais do 4º Congresso Florestal Paranaense**, Curitiba, 2012.

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

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993. 348p.

SILVA, I. P da. **Métodos estatísticos aplicados a pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1999a, 309p.

SILVA, C. R. da. Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo. 2005. 51p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

3. EFEITO DO ESPAÇAMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii*

RESUMO

Cristiane Carla Benin. Efeito do espaçamento sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*.

Este capítulo teve como objetivo principal determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. benthamii* na idade de seis anos, em quatro espaçamentos de plantio para avaliar a influência do espaçamento nas propriedades da madeira. Para isso foram amostradas 15 árvores por espaçamento, sendo três em cada classe de diâmetro. Para avaliação das propriedades físicas amostraram-se discos em cinco posições no fuste da árvore (0,10m, 1,30m, 25 %, 50% e 75%), os quais foram transformados em cunhas opostas diametralmente. Na avaliação das propriedades mecânicas, foram utilizadas 12 árvores por espaçamento, obtendo-se toras que foram transformadas em vigas para a fabricação de corpos de provas utilizados na realização dos ensaios mecânicos de flexão estática, cisalhamento, compressão paralela e dureza, seguindo procedimentos e normatizações da COPANT. As variáveis foram analisadas estatisticamente sob o efeito dos espaçamentos e em relação à posição de amostragem. Os resultados apontaram que a densidade básica não sofreu efeito do espaçamento de plantio, apenas foi registrada variação decrescente nos valores desta propriedade com o aumento da altura de amostragem. As maiores áreas vitais entre plantas afetaram negativamente a retração no sentido radial, mas não no sentido tangencial. As retrações radiais e tangenciais da madeira também foram afetadas pela posição de amostragem. A retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia apresentaram valores decrescentes com o aumento da altura no fuste. O módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) em flexão estática, a resistência ao cisalhamento e o MOE em compressão não tiveram seus valores influenciados pelo espaçamento, enquanto a resistência a compressão paralela e a dureza no sentido axial e tangencial mostraram algum efeito do espaçamento, mas não foi possível descrever uma tendência clara nesta variação. As propriedades mecânicas caracterizaram a madeira do *E. benthamii* com baixa a média resistência mecânica. De modo geral, o emprego de diferentes espaçamentos não influenciou diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira do *E. benthamii* até a idade avaliada.

Palavras- chave: Estabilidade dimensional, resistência mecânica, taxas de crescimento.

ABSTRACT

Cristiane Carla Benin. Effect of spacing on the physical and mechanical properties of *E. benthamii* wood.

This chapter aimed to determine the physical and mechanical properties of *E. benthamii* wood at the age of six years, in four planting spacings to evaluate the influence of spacings on wood properties. For that fifteen trees were sampled by spacing, three in each diameter class. To evaluate the physical properties, discs were sampled at five positions on the shaft of the tree (0,10 m, 1,30 m, 25%, 50 % and 75 %), which were transformed into diametrically opposed wedges for determination of physical properties. Twelve trees were used in wide spacing in the evaluation of mechanical properties, obtaining logs that were converted to manufacture samples used on the mechanical test of static bending, shear, compression parallel and hardness, following procedures and norms of COPANT. The variables were analyzed statistically under the effect of spacing and regarding sampling position. The results showed that the basic density was not affected by the planting spacing, but was recorded decreasing variation in the values of this property with increasing sampling height. The major vital spaces between plants adversely affected the shrinkage in the radial direction but not in the tangential direction. The radial and tangential shrinkage of wood were also affected by the sampling position. The volumetric shrinkage and coefficient of anisotropy showed a decreasing value with increasing height of the shaft. The modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) in static bending, the shear strength and modulus of elasticity in compression had their values not influenced by spacing, while the shear and compression stiffness in axial and tangential direction showed some effect of spacing, but was not possible to describe a clear trend in this variation. The mechanical properties of wood characterized *E. benthamii* at the age of six years with low to medium strength. In general, the use of different spacings not directly influenced the physical and mechanical properties of *E. benthamii* wood until age assessed.

Keywords: Dimensional stability, mechanical strength, growth rate.

3.1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas são responsáveis pelo fornecimento de madeira para fins industriais, em substituição à madeira oriunda de florestas naturais. O rápido crescimento, a produtividade das florestas e as tecnologias no setor florestal, contribuem para que a tendência seja a produção de madeira a partir de reflorestamentos.

Dentre as espécies exóticas plantadas na região Sul e que destacam o setor florestal, já é consolidado o emprego da madeira sólida e processada mecanicamente do gênero *Pinus*, enquanto estudos com espécies representantes do gênero *Eucalyptus* vêm tentando inseri-las cada vez mais neste contexto e mostrar o potencial tecnológico de sua madeira.

De um modo geral, o *Eucalyptus* ainda não foi bem aceito como uma madeira para tais finalidades, gerando comentários sobre características desfavoráveis de sua madeira que dificultam o seu processamento e aproveitamento.

As dificuldades são ainda maiores para espécies novas em que estudos das propriedades da madeira são limitados. A exemplo disso cita-se o *Eucalyptus benthamii*, uma espécie de interesse dos silvicultores nas regiões de clima frio, principalmente no Estado do Paraná e Santa Catarina. Na região de Santa Catarina, a espécie já é vista como protagonista de um novo ciclo da madeira que se inicia, dando continuidade aos primeiros, da *Araucaria* e do *Pinus* (BERRETA, 2007).

Os primeiros relatos sobre a madeira do *E. benthamii* são sobre suas propriedades físicas. Os autores enfatizam que sua qualidade é adequada à produção de energia e destacam obstáculos quanto ao processamento mecânico, principalmente pela alta instabilidade dimensional (PERREIRA et al., 2001 ; HIGA; PERREIRA, 2003). Entretanto, quase nada é encontrado sobre as suas propriedades mecânicas e a falta de informações e apoio de pesquisas restringe sua utilização a fins que não demandem o processamento mecânico desta madeira.

Neste sentido, o entendimento das técnicas que possam melhorar o desenvolvimento da floresta e adequar às características do produto final são aspectos importantes na produção de madeira com qualidade. O espaçamento, bem como o manejo da floresta, é uma das principais ações que podem ser controladas na produção de madeira com características desejáveis para atender as demandas estabelecidas pelo mercado. O espaçamento pode afetar a taxa de crescimento das árvores, idade de corte, custos da produção e a qualidade da madeira (BALLONI ; SIMÕES, 1980).

Sabe-se que as principais modificações ocorridas na estrutura anatômica e nas propriedades da madeira em função do espaçamento de plantio, estão relacionadas às alterações nas condições de crescimento da árvore. Mesmo assim, o comportamento das propriedades da madeira face à aceleração nas taxas de crescimento ainda não foi claramente definido, pois os resultados ainda podem ser variáveis em função da idade, da espécie, do material genético e de outros fatores.

Em decorrência disso e das pouquíssimas pesquisas sobre a madeira desta espécie, mesmo ao se tratar de árvores de pouca idade, é de suma importância a caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira diante de condições que possam exercer alguma modificação nas características da madeira formada, neste caso, pela adoção de diferentes espaçamentos de plantio.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo geral

Estudar os efeitos de diferentes espaçamentos de plantio nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*, aos seis anos de idade.

3.2.2 Objetivos específicos

- a) Estudar a variação da densidade básica e estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus benthamii* em função do espaçamento de plantio adotado e posição de amostragem em relação à altura total;
- b) Caracterizar as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* em função do espaçamento de plantio adotado.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Amostragem e seleção de material para realização de ensaios físicos

A seleção de árvores para a realização dos ensaios físicos da madeira foi realizada nas cinco classes diamétricas de maior frequência em cada espaçamento. Foram escolhidas aleatoriamente três árvores dentro do intervalo de cada classe, totalizando 15 árvores em cada espaçamento e 60 árvores no ensaio.

Após a derrubada das árvores no campo, discos de aproximadamente 5 cm de espessura foram coletados em cinco posições pré-determinadas: 0,10 m; 1,30 m (DAP); 25, 50 e 75% da altura total da árvore, a fim de avaliar a variação das propriedades físicas no sentido base-topo. Os discos foram identificados com placas de metal contendo o número da árvore e a respectiva posição do fuste.

3.3.1.1 Preparo das amostras para os ensaios físicos

No laboratório de Propriedades da Madeira do Curso de Engenharia Florestal, no Campus Universitário de Irati, demarcaram-se duas cunhas opostas diametralmente em cada disco, com ângulo de trinta graus. Com o auxílio de serra-fita, as cunhas foram cortadas e em seguida retirou-se a casca das mesmas.



Figura 7. Etapas de coleta e preparo dos discos de 5 cm de *E. benthamii*, para a realização de ensaios de densidade básica e estabilidade dimensional. Foto: O autor (2013).

3.3.2 Determinação da densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada a partir da metodologia adaptada da norma NBR 7190 para estruturas de madeira (ABNT, 1997). A massa seca foi obtida por pesagem das cunhas em balança de precisão após secagem das amostras em estufa a $103 \pm 2^\circ$ C, quando verificado peso constante. Nesta etapa, também foi determinado o volume seco do corpo de prova pelo método da balança hidrostática, utilizado no cálculo da retração volumétrica. O volume saturado foi obtido pelo método da balança hidrostática (deslocamento de água), conforme o seguinte procedimento descrito:

- a) As cunhas foram mantidas em recipiente com água por cerca de 35 dias, completamente submersas, até a madeira ficar totalmente saturada;
- b) Após a saturação, utilizou-se uma balança de precisão e um recipiente com água para obtenção do volume saturado. As cunhas foram imersas em um recipiente com água, sem que houvesse contato com as laterais ou o fundo do recipiente;

- c) Anotou-se o valor registrado na balança, o qual é correspondente ao volume de madeira saturado de cada cunha.

A densidade básica da madeira para cada ponto de amostragem foi determinada pela expressão 3:

$$Db = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Volume saturado}} \quad (3)$$

Em que:

Db = densidade básica da madeira (g/cm³);

Massa seca = Massa seca(g) em estufa a 103 ± 2° C (g)

Volume saturado (cm³), determinado após imersão em água durante 35 dias.

Já a densidade básica ponderada pelo volume de madeira, foi determinada para cada árvore, pela expressão 4:

$$db \text{ pond.} = \frac{\frac{db \ 0,1 + db \ 1,3}{2} * vol \ 0,1 - 1,3 + \dots + \frac{db50 + db \ 75}{2} * vol \ 50 - 75\%}{\text{volume até 75\%}} \quad (4)$$

Em que:

Db pond = densidade básica ponderada

db 0,1; db 1,3; db 50; db75 = densidade básica relativa a cada seção de amostragem.

Vol 0,1-1,3 = volume de cada seção, até 75% da altura total da árvore.

Volume 75% = volume até 75 % da altura da árvore.

3.3.3 Estabilidade dimensional

A metodologia utilizada na determinação da estabilidade dimensional foi adaptada de Rezende et al. (1995). As mesmas cunhas utilizadas na determinação da densidade básica da madeira foram utilizadas para a determinação da estabilidade dimensional. Para tanto, identificou-se duas posições no sentido tangencial e duas no sentido radial, sendo desprezada a variação no sentido longitudinal. Assim, as propriedades de estabilidade dimensional foram determinadas nas posições 0,10 m; DAP, 25% e 50% da altura total da árvore.

As dimensões secas foram tomadas em duas posições em cada sentido (sentido radial e tangencial) após secagem das cunhas em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até peso constante, com precisão de 0,01mm. As dimensões saturadas nas duas posições previamente identificadas, tanto no sentido radial, como no sentido tangencial foram determinadas com precisão de 0,01 mm, após a completa saturação do corpo de prova.

A partir dos dados obtidos, a retração radial e tangencial foi calculada pela expressão 5:

$$\text{Retração (\%)} = \frac{D \text{ verde} - D \text{ seca}}{D \text{ verde}} * 100 \quad (5)$$

Em que:

Retração = Retração radial e retração tangencial (%)

D verde = Dimensão verde do corpo de prova (obtida no sentido radial e tangencial) após a saturação em água durante 35 dias (mm)

D seca = Dimensão seca do corpo de prova (obtida no sentido radial e tangencial) após secagem em estufa por um período de 48 hs a $103 \pm 2^\circ \text{C}$, até obtenção de peso constante (mm)

A retração volumétrica foi determinada para cada árvore e posição de amostragem, pela expressão abaixo:

$$RV (\%) = \frac{\text{Volume verde} - \text{volume seco}}{\text{volume verde}} * (100) \quad (6)$$

Em que:

RV= Retração volumétrica (%)

Volume verde = volume verde das amostras (cm^3), determinado em balança hidrostática, após completa saturação das amostras.

Volume seco = volume seco das amostras (cm^3), determinado em balança hidrostática, após secagem das amostras em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$, até obtenção de peso constante.

3.3.4 Coeficiente de anisotropia (T/R)

O coeficiente de anisotropia ou relação T/R que permite verificar a variação no sentido radial e tangencial foi calculada conforme a expressão 7:

$$\frac{T}{R}(\%) = \frac{\text{Retração tangencial}}{\text{Retração radial}} \quad (7)$$

Em que:

T/R = fator de anisotropia da madeira (%)

Retração tangencial = Retração no sentido tangencial (%)

Retração radial = Retração no sentido radial (%)

3.3.5 Avaliações estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de *Bartlett* no sentido de verificar a homogeneidade das variâncias. Ao atender esta premissa estatística, realizou-se a ANOVA, para verificar as possíveis diferenças estatísticas e interações entre os tratamentos. As análises foram realizadas no delineamento inteiramente casualizado, sendo a média ponderada da densidade básica da árvore avaliada em função do espaçamento. Para os dados médios de densidade básica e retração volumétrica, a análise foi em esquema fatorial 4x5, sendo os fatores quatro espaçamentos de plantio (3 x 2, 3 x 3, 4 x 3, 4 x 4m) e cinco posições de amostragem no fuste (0,10m; DAP, 25, 50 e 75% da altura da árvore). Para as avaliações de retração tangencial e radial e do coeficiente de anisotropia as posições de amostragem foram avaliadas até 50% da altura da árvore, sendo a análise realizada em esquema fatorial 4 x 4. Quando a hipótese de nulidade foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. As análises foram realizadas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3.3.6 Amostragem e seleção de material para realização de ensaios mecânicos

Para a realização dos ensaios mecânicos foram amostradas duas toras de cada árvore com comprimento de 1,1 metros. A partir dessas, foram retiradas quatro vigas de 6,5 cm x 6,5 cm por árvore, destinadas à confecção dos corpos de prova (CP) para os ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras, dureza e cisalhamento. A seleção de vigas seguiu uma adaptação do método simplificado de amostragem aleatório de vigas estabelecido pela NBR-7190/97 (ABNT, 1997), em função das rachaduras observadas na madeira. As etapas desde a coleta das árvores até a realização dos ensaios estão detalhadas na Figura 8.

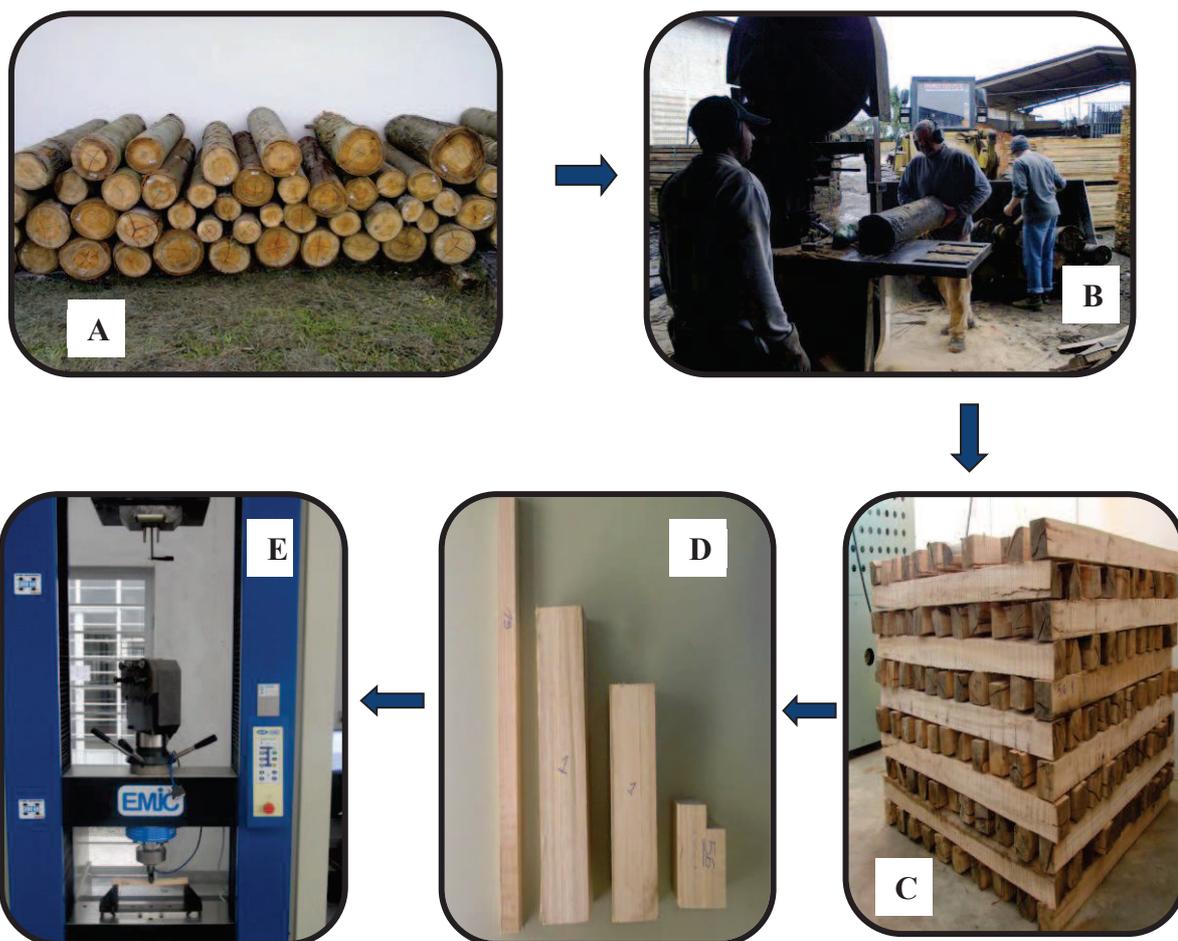


Figura 8. Procedimentos realizados para a obtenção de amostras e realização de ensaios mecânicos. (A)- árvores amostradas. (B e C) – Desdobro de toras em pranchões centrais e vigas. (D)- Corpos de prova (E)- Máquina Universal de ensaios mecânicos.

Em cada espaçamento, consideraram-se doze árvores, sendo retirados dois corpos de prova de cada ensaio por árvore, totalizando 24 CP em cada ensaio.

Os ensaios mecânicos foram realizados na Máquina Universal de Ensaio Mecânico EMIC – DL 30.000, seguindo as orientações e dimensões dos corpos de provas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), conforme descrito no item 3.4.1. Os ensaios foram realizados em corpos de provas condicionados em ambiente com 65% de umidade e 20° C de temperatura.

Para cada ensaio foram amostrados 6 corpos de prova para acompanhamento da umidade, a qual foi determinada pela seguinte expressão:

$$U (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} * (100) \quad (8)$$

Em que:

U(%) = umidade

P_i – Peso inicial da amostra

P_f- Peso final da amostra após secagem em estufa a 103° ± 2° C, até peso constante

3.3.6.1 Descrição dos ensaios e dimensões dos corpos de prova

3.3.6.2 Flexão estática (Norma COPANT 555)

O ensaio foi realizado de acordo com a norma COPANT 555. Os corpos de prova (CP) para o ensaio de flexão estática foram dimensionados com 2 cm de largura x 2cm de altura x 30 cm de comprimento.

Procedimentos do ensaio

- a) O corpo de prova foi disposto sobre dois apoios, com distância de 14 vezes a altura do CP, ou seja, 28 cm.
- b) A dimensão do corpo de prova foi mensurada com precisão de 0,01 mm e informada na entrada de dados do software TESC trb 3.04.
- c) A célula de carga utilizada foi de 30 kgf e aplicação de carga contínua se deu até o rompimento do corpo de prova.
- d) Os resultados do ensaio (carga de ruptura, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e limite de proporcionalidade) foram registrados automaticamente pelo sistema de relatório do Software TESC trb 3.04.

3.3.6.3 Cisalhamento (Norma COPANT 463)

O corpo de prova utilizado no ensaio de cisalhamento, suas respectivas dimensões e a representação do ensaio são apresentadas na figura 9.

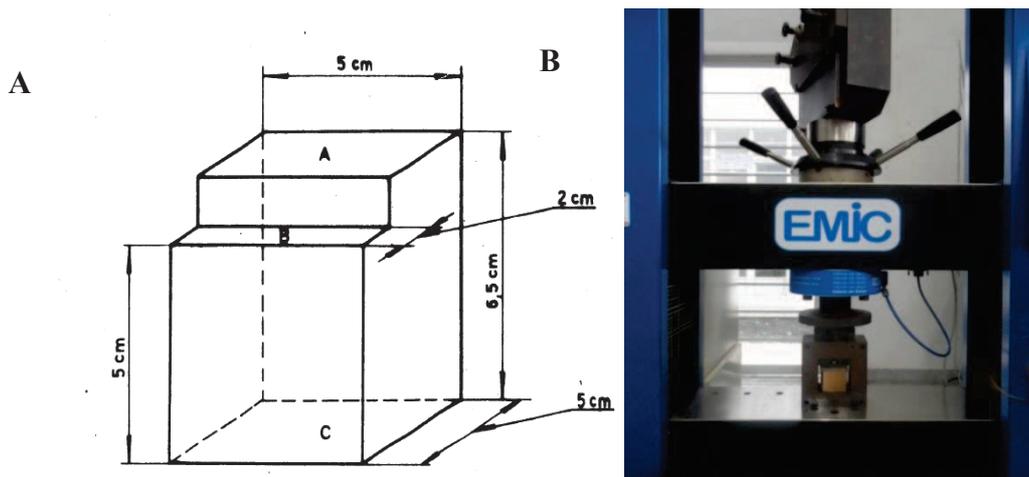


Figura 9. A- Dimensões do corpo de prova de cisalhamento. B- Representação do ensaio de cisalhamento.

Procedimentos do ensaio

a) O corpo de prova foi disposto na máquina com o acessório necessário a realização do ensaio (Figura 9 B).

b) A área de cisalhamento foi mensurada com precisão de 0,01 mm e informada na entrada de dados do software TESC trb 3.04.

c) A célula de carga utilizada foi de 300 kg e a aplicação de carga contínua se deu até o momento que ocorreu o deslocamento da área de cisalhamento do CP.

d) Os resultados do ensaio foram registrados automaticamente pelo sistema de relatório do Software TESC trb 3.04.

A resistência ao cisalhamento foi calculada pela expressão:

$$FVo = \frac{FVo \text{ máxima}}{A} \quad (9)$$

Em que:

Fvo = Resistência ao cisalhamento (kgf/mm² /MPa)

FVo = Máxima força cisalhante aplicada (kgf)

A- área de cisalhamento do corpo de prova (mm²)

3.3.6.4 Compressão paralela às fibras (Norma COPANT 464)

Os corpos de prova utilizados no ensaio compressão paralela foram no formato de prismas retos com 20 cm de comprimento e seção transversal quadrado de 5 cm de largura.



Figura 10. Representação do ensaio de compressão paralela às fibras, indicando o uso de extensômetro na mensuração do deslocamento das fibras.

Procedimentos do ensaio

- a) O corpo de prova foi disposto na máquina e a este foi acoplado um extensômetro, para mensurar o deslocamento das fibras.
- b) A dimensão do corpo de prova foi mensurada com precisão de 0,01 mm e informada na entrada de dados do software TESC trb 3.04.
- c) A célula de carga utilizada foi de 300 kN e aplicação de carga contínua deu-se até o deslocamento das fibras.
- d) Os resultados do ensaio foram registrados automaticamente pelo sistema de relatório do Software TESC trb 3.04.

A resistência à compressão paralela foi calculada pela expressão:

$$FCo = \frac{FCo \text{ máxima}}{A} \quad (10)$$

Em que:

FCo = Resistência à compressão paralela às fibras (kgf/cm² /MPa)

FCo máx = Máxima força de compressão aplicada (kgf)

A = Área da seção transversal comprimida (cm²)

3.3.6.5 Dureza (Norma COPANT 465).

As dimensões do CP para o ensaio de dureza foram de 15 cm de comprimento, com seção transversal de 5 cm de largura (Figura 11).

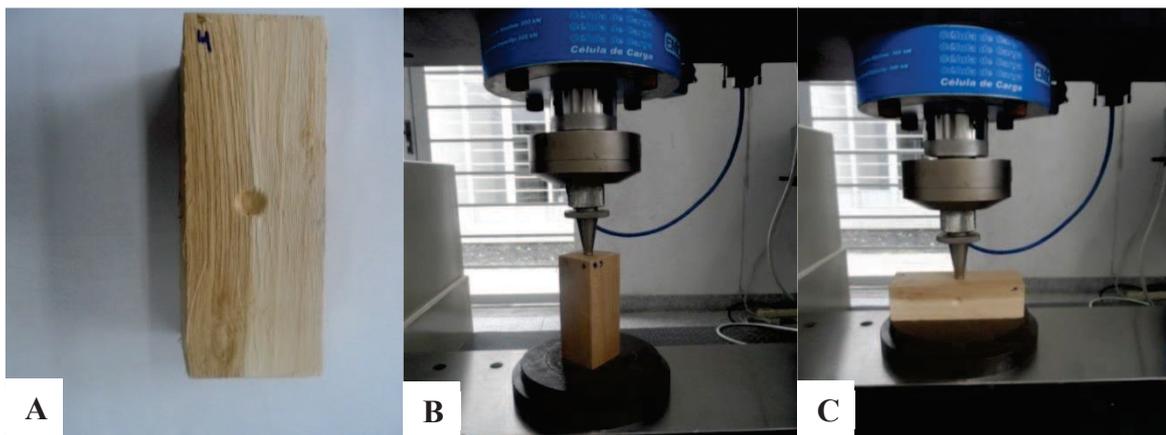


Figura 11. A- Corpo de prova de dureza. B- Representação do ensaio de dureza no sentido axial. C- Representação do ensaio no sentido radial.

Procedimentos do ensaio

- a) O corpo de prova foi apoiado na superfície da máquina para a realização do ensaio, conforme Figura 11 B. Utilizou-se uma semiesfera de aço, a qual foi penetrada nas direções radial, tangencial e axial do CP.
- b) Utilizou-se célula de carga de 30 kN. A carga foi aplicada até a penetração da metade da semiesfera no CP. Os resultados do ensaio foram registrados automaticamente pelo sistema de relatório do Software TESC trb 3.04.

A dureza foi calculada pela máxima resistência à penetração de uma semiesfera de 1 cm² de seção diametral, pela expressão 11:

$$Fh = \frac{F \text{ máx}}{A} \quad (11)$$

Em que:

Fh = Dureza (kgf/mm² /MPa)

Fmáx.: força máxima necessária à penetração de uma semiesfera de aço e seção diametral de 1 cm² na profundidade igual ao seu raio.

A = área da secção diametral da esfera (cm²).

3.3.6.6 Correções dos valores de resistência e rigidez da madeira para 12 % de umidade

De acordo com a NBR 7190, na caracterização das propriedades de resistência de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 20%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%. Assim, nos ensaios em que os corpos de provas que não atingiram exatamente a umidade de 12 %, os valores de resistência e rigidez foram corrigidos pelas expressões abaixo:

Resistência:

$$F_{12\%} = f_{U\%} \left[1 + 3 \left(\frac{U\% - 12}{100} \right) \right] \quad (12)$$

Em que:

F12 – Resistência corrigida para a umidade 12%

FU% - Resistencia no teor de umidade observado.

U%- Umidade observada na realização do ensaio.

Rigidez:

$$E_{12\%} = E_{U\%} \left[1 + 2 \left(\frac{U\% - 12}{100} \right) \right] \quad (13)$$

Em que:

E12% - Rigidez (módulo de elasticidade) corrigida para a umidade de 12 %.

EU% - Rigidez (módulo de elasticidade) no teor de umidade observado.

U% - Umidade observada na realização do ensaio.

3.3.7 Avaliações estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de *Bartlett* no sentido de verificar a homogeneidade das variâncias. Ao atender esta premissa estatística, realizou-se a ANOVA, para verificar as possíveis diferenças estatísticas entre os espaçamentos de plantio (3 x 2, 3 x 3, 4 x 3, 4 x 4m). Quando a hipótese de nulidade foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey. Nos resultados do ensaio de flexão, foi utilizada a análise de regressão linear. As análises foram realizadas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Propriedades físicas

3.4.1.1 Densidade básica ponderada pelo volume

A homogeneidade das variâncias foi comprovada pelo teste de *Bartlett*. Em seguida, não foi detectada diferença estatística para a densidade básica ponderada pelo volume entre os espaçamentos de plantio ($p > 0,05$). Na tabela 14, pode-se observar os valores médios encontrados para os espaçamentos analisados.

Comparando o comportamento da densidade básica da madeira observado neste estudo com o encontrado por outros autores, comprova-se que muitas vezes o espaçamento de plantio não causa efeito na densidade da madeira, conforme relatado nos trabalhos de Vital et al. (1981); Chies (2005), Lassere et al. (2009), dentre outros. No entanto, apesar da taxa de crescimento das árvores, determinada em especial pelo espaçamento de plantio, muitas vezes não ser capaz de alterar diretamente as propriedades da madeira, tende a modificar a formação de madeira juvenil (CHIES, 2005), a qual poderá afetar negativamente a qualidade do produto final.

Tabela 14. Densidade básica ponderada pelo volume de árvores de *E. benthamii*, em função do espaçamento de plantio, aos seis anos de idade.

Fator	Níveis do fator	Db ponderada (g/cm ³)
Espaçamento (m)	3 x 2	0,49 ± 0,023 * a
	3 x 3	0,49 ± 0,023 a
	4 x 3	0,50 ± 0,025 a
	4 x 4	0,49 ± 0,026 a
CV %		4,90

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação. * Desvio padrão dos dados em cada espaçamento

A média da densidade básica ponderada da madeira de *E. benthamii* foi de 0,49 g/cm³. Este resultado foi superior à densidade básica encontrada em outros estudos com a espécie.

Pereira et al. (2001) desenvolveram um estudo inicial de caracterização das propriedades da madeira e verificaram que a densidade básica da madeira de *E. benthamii* aos sete anos de idade foi de 0,48 g/cm³. Na caracterização tecnológica da madeira de *E. benthamii* para produção de celulose Kraft, Alves et al. (2011) encontraram densidade básica

da madeira de 0,47g/cm³, em árvores amostradas na região de Guarapuava- PR, ao seis anos de idade. Na mesma região e na mesma idade de avaliação Lima et al. (2011) constataram oscilação entre 0,43 – 0,51 g/cm³ na densidade básica do *E. benthamii*, sendo a média registrada de 0,47 g/cm³.

A variação encontrada na densidade básica para a mesma espécie em diferentes estudos, embora considerada pequena, pode ser explicada pela ação dos diversos fatores que podem modificar esta propriedade. Latorraca e Albuquerque (2000); Alzate et al. (2005); Trevisan et al. (2007) afirmam que a densidade básica é afetada pelos fatores inerentes ao crescimento (sítio, clima, distribuição geográfica), assim como pelos tratos silviculturais e principalmente pela estrutura anatômica da madeira (comprimento das fibras, ângulo microfibrilar), presença de lenho juvenil e adulto, dentre outros elementos anatômicos .

Quando comparado à densidade básica da madeira de outras espécies de *Eucalyptus*, notou-se que o *E. benthamii* apresentou valores superiores à clones de *E. saligna* (0,46 g/cm³) e *E. grandis* (0,45 g/cm³) e inferiores a densidade básica média da madeira de clones de *E. dunnii* (0,56 g/cm³), com onze anos de idade no trabalho realizado por Batista et al. (2010). A espécie também pode ser considerada uma madeira com densidade básica menor em relação às espécies *E. urophylla* (0,52), *E. cloeziana* (0,69), *E. citriodora* (0,72) e *E. paniculata* (0,72), estudadas por Oliveira (1997), aos dezesseis anos de idade.

3.4.1.2 Densidade básica média em função do espaçamento e da altura no fuste

O fator espaçamento não foi significativo ($p > 0,05$). Apenas houve diferença significativa na posição de amostragem no fuste ($p < 0,05$). Também não se registrou interação entre os fatores espaçamento e posição de amostragem no fuste ($p > 0,05$). Na tabela 15 são apresentados os valores médios da densidade básica em função dos fatores avaliados.

A densidade básica média das amostras foi um pouco superior à densidade básica ponderada pelo volume, entre os espaçamentos estudados. Os valores médios observados foram de 0,49 g/cm³ para o espaçamento 3 x 3m e de 0,50 g/cm³ para os demais espaçamentos (Tabela 15). A correção que o cálculo da densidade ponderada pelo volume faz nestes valores gera uma estreita relação da massa de madeira por unidade de volume, por isso pode ser um indicativo de maior confiabilidade na avaliação desta propriedade quando se deseja estabelecer a média para cada árvore.

Tabela 15. Densidade básica média da madeira de *E. benthamii*, em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.

Fatores	Níveis dos fatores	Densidade básica (g/cm ³)
Espaçamento (m)	3 x 2	0,501 a
	3 x 3	0,498 a
	4 x 3	0,501 a
	4 x 4	0,501 a
Posição de amostragem	0,1m	0,523 a
	1,30m	0,511 a b
	25%	0,503 b
	50%	0,499 b
	75%	0,470 c
CV %		7,91

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6m; 50% = 12m e 75% = 18m.

Conforme os resultados apresentados, o padrão de variação longitudinal da densidade básica média da madeira foi decrescente de acordo com o aumento da altura total da árvore. A base da árvore apresentou o maior valor de densidade básica, seguido pelas amostras correspondentes ao DAP e a 25% da altura e por fim da porção mediana da árvore e de 75% da altura total (Tabela 15).

O resultado encontrado está de acordo com o observado por Pereira et al. (2001), em que os autores descreveram tendência de redução da densidade básica do *E. benthamii* no sentido base- topo. Entretanto, o padrão decrescente da densidade básica no sentido base- topo nem sempre é observado para outras espécies, podendo ocorrer inúmeras variações, a exemplo do estudo de Alzate et al. (2005) que ao determinarem a densidade básica da madeira de três espécies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. grandis* x *E. urophylla*), concluíram padrões diferenciados de variação da densidade básica da madeira entre as espécie avaliadas.

Para *E. grandis*, aos dezoito anos de idade sob efeitos do desbaste, a massa específica básica apresentou valores decrescentes até o DAP, seguido de acréscimos com o aumento da altura, sem tendências de equilíbrio (TREVISAN et al., 2012). Este mesmo padrão de variação da densidade básica foi registrado para a madeira de *E. regnans*, aos dezesseis anos de idade, na Província de Arauco, Chile (OMONTE, VALEZUELA., 2011). Já em híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, observou-se um tendência linear crescente da densidade básica de acordo com a altura do fuste. Neste caso, a realização do desbaste seletivo e do emprego de

espaçamento mais amplo favoreceu este comportamento da densidade básica da madeira (GONÇALVES et al., 2009).

3.4.2 Estabilidade dimensional

3.4.2.1 Retração radial e Tangencial

A homogeneidade das variâncias foi atendida com a transformação logarítmica dos dados para as características retração radial e tangencial. Após atender esta premissa, foi possível detectar diferenças entre os espaçamentos e posição de amostragem para a retração radial ($p < 0,05$). Não houve interação entre os fatores espaçamentos e posição de amostragem no fuste ($p > 0,05$). A retração tangencial sofreu influencia da posição de amostragem no fuste ($p < 0,05$), mas não sofreu efeito da interação entre os fatores estudados ($p > 0,05$).

Entre os espaçamentos avaliados, notou-se de um modo geral que o maior espaçamento entre plantas aumentou a retratibilidade na madeira no sentido radial. No entanto, os espaçamentos 4 x 4, 4 x 3 e 3 x 2m não foram estatisticamente diferentes para esta característica.

De acordo com a Tabela 16, os valores de retração tangencial registrados para os espaçamentos avaliados foram estatisticamente semelhantes, com valores de 15,04; 14,74 e 16,52 % para os espaçamentos 3 x 2; 3 x 3 e 4 x 3; 4 x 4, respectivamente.

Tabela 16. Valores médios de retração radial (%) e tangencial (%) da madeira de *E. benthamii*, em função do espaçamento de plantio e amostragem no fuste, aos seis anos de idade.

Fatores	Níveis dos fatores	Retração Radial (%)	Retração Tangencial (%)
Espaçamento (m)	3 x 2	6,63 ab	15,04 a
	3 x 3	6,14 b	14,74 a
	4 x 3	7,02 a	14,74 a
	4 x 4	6,95 a	16,52 a
Posição de amostragem	0,1m	6,85 a	18,40 a
	1,30m	6,59 ab	16,20 ab
	25%	6,11 b	14,39 b
	50%	7,18 a	13,22 c
CV %		30,28	26,12

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6m; 50% = 12m.

Quanto à posição de amostragem no fuste, pode-se verificar que os maiores valores de retração radial ocorreram na porção mediana, na base e na região do DAP das árvores (Tabela 16). No sentido tangencial, a variação da retração verificada foi decrescente com o aumento da altura de amostragem no fuste (Tabela 16).

No estudo da variação dimensional de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. urophylla* com dezoito anos de idade, Lopes et al. (2011) observaram aumento da retração radial da base para o topo da árvore e concluíram que não houve diferenças significativas na retração tangencial ao longo do fuste. Relataram ainda evidências de menor estabilidade dimensional e maior deformação volumétrica da madeira conforme o aumento nas posições amostragem ao longo do fuste.

Ao se comparar os resultados obtidos com os valores médios de retração radial de outras espécies de *Eucalyptus* com 16 anos de idade no estudo realizado por Silva Oliveira et al. (2010), a retração radial média do *E. benthamii* (6,7 %) mostrou-se inferior aos valores do *E. paniculata* (9,4%); *E. urophylla* (7,9%); *E. tereticornis* (7,3%) e *E. citriodora* (7,1%) e superior a retração radial média do *E. pilularis* (6,4%), *E. cloeziana* (5,7%) e do *E. grandis* (5,0%). Para a retração tangencial, o *E. benthamii* (15,2 %) registrou valor médio superior a quase todas as espécies anteriormente citadas, exceto ao *E. paniculata* que apresentou retração tangencial de 15,5 %.

Diante da escassez de trabalhos publicados relatando sobre a estabilidade dimensional do *E. benthamii*, os resultados de retratibilidade encontrados estão próximos ao estudo inicial de Pereira et al. (2001) em árvores com sete anos de idade, cujo valor médio de retração no sentido radial foi de $6,9 \pm 0,6$ % e $13,7 \pm 0,4$ % no sentido tangencial.

Com base nos resultados, a variação dimensional verificada foi superior no sentido tangencial em relação ao sentido radial, estando de acordo com a tendência relatada por Galvão e Jankowsky (1985) e Klitzke (2008). Silva Oliveira et al. (2010) comentam que a elevada retratibilidade no sentido tangencial em relação ao radial é atribuídas às características anatômicas, especialmente o volume de raios e também pela restrição que a largura e a altura das células fazem no sentido radial.

3.4.2.2 Retração volumétrica

A retração volumétrica da madeira sofreu efeito apenas da posição de amostragem no fuste ($p < 0,05$). Não houve interação entre os fatores espaçamento e posição de amostragem ($p > 0,05$).

O espaçamento de plantio não afetou significativamente a retração volumétrica da madeira. As maiores variações para esta propriedade foram observadas nos espaçamentos 3 x 3 e 4 x 4 m, seguido dos espaçamentos 3 x 2 e 4 x 3m (Tabela 17).

Tabela 17. Valores médios de retração volumétrica da madeira de *E. benthamii*, em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.

Fatores	Níveis dos fatores	Retração volumétrica (%)
Espaçamento (m)	3 x 2	24,88 a
	3 x 3	26,02 a
	4 x 3	24,81 a
	4 x 4	25,58 a
Posição de amostragem	0,1m	27,23 a
	1,30m	24,75 ab
	25%	24,33 ab
	50%	26,06 ab
	75%	24,23 b
CV %		23,41

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV %- Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6m; 50% = 12m e 75% = 18m.

Elevados valores de retração volumétrica foram registrados para a madeira do *E. benthamii*, na idade de seis anos. Observou-se tendência de decréscimo na retração volumétrica com o aumento da altura de amostragem no fuste, mas com padrão não bem definido, sendo que os valores médios foram maiores na região basal da árvore e diferente estatisticamente somente do valor médio observado a 75% da altura (Tabela 17).

De modo geral, os resultados foram superiores a dados iniciais de retração volumétrica da mesma espécie, nos primeiros ciclos de avaliação após sua introdução no Brasil. Naquele caso, os valores médios do *E. benthamii* foram $19,5 \pm 0,7\%$, aos sete anos de idade (PERREIRA et al., 2001). Também foi mais elevada que a retração volumétrica das espécies *E. grandis*, *E. camaldulensis* e do híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis*, para as quais os autores concluíram retrações volumétricas de 15,54%, 22,4% e 19,5%, respectivamente e foi

possível observar que o aumento da retração volumétrica foi proporcional ao aumento da densidade básica da madeira (LOULIDI et al., 2012).

Kollmann e Cotê (1968) citado por Batista et al. (2010); Poubel et al. (2011) citam que quanto mais elevada a densidade de uma espécie, maior é a contração da madeira. O fato está relacionado à maior espessura da parede e ao menor volume de lume das células. Contudo, a retração da madeira é afetada também pelo ângulo das microfibrilas, em especial da camada S2.

No presente estudo, ao se tratar de árvores jovens e com propensão à formação de madeira juvenil, a ocorrência de altos valores de retração possivelmente está associada às particularidades da madeira juvenil, ao maior ângulo das microfibrilas e ao comprimento das fibras.

Os resultados observados podem ainda estar relacionados à presença de madeira de tração ou reação, comumente verificada nas espécies de rápido crescimento e em povoamentos jovens, que sofrem algum estresse por ações mecânicas, excesso de peso ou força do vento. De acordo com Monteiro et al. (2010) elevada retratibilidade e densidade básica da madeira quando comparada a madeira normal, podem sinalizar a presença de madeira de reação. Deste modo, a ocorrência de madeira de reação e as modificações anatômicas associadas a este tipo de lenho, são responsáveis por consideráveis alterações nas propriedades físicas e mecânicas, logo causam efeitos negativos na qualidade da madeira.

3.4.2.3 Coeficiente de anisotropia (T/R)

A homogeneidade das variâncias foi comprovada para a variável estudada, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Diferenças significativas foram registradas para o coeficiente de anisotropia da madeira em função da posição de amostragem no fuste ($p < 0,05$). Não foram verificadas interações significativas entre os fatores avaliados ($p > 0,05$).

Para o fator anisotrópico da madeira de *E. benthamii* foi observada uma tendência de valores mais elevados conforme o aumento do espaço entre plantas, destacando os valores registrados nos espaçamentos com áreas vitais de 12 e 16m² entre plantas (Tabela 18). Em relação ao aumento da altura de amostragem no fuste, o coeficiente de anisotropia apresentou comportamento decrescente (Tabela 18).

Tabela 18. Coeficiente de anisotropia em árvores de *E. benthamii*, em função do espaçamento de plantio e posição de amostragem no fuste, aos seis anos de idade.

Fatores	Níveis dos fatores	Coeficiente de anisotropia (%)
Espaçamento (m)	3 x 2	2,33 a
	3 x 3	2,43 a
	4 x 3	2,54 a
	4 x 4	2,48 a
Posição de amostragem	0,1m	2,86 a
	1,30m	2,55 b
	25%	2,46 b
	50%	1,92 c
CV %		29,22

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação. Altura média referente às posições de amostragem: 25% = 6m; 50% = 12m.

A tendência observada para o coeficiente de anisotropia em função da altura de amostragem corrobora com o observado por Calvo et al. (2006) em estudo com *E. grandis*, em que os autores descreveram decréscimo deste parâmetro até a porção mediana da árvore e a partir deste ponto foi registrado pequeno acréscimo da propriedade até o ápice.

Comparando-se a outros estudos, o coeficiente de anisotropia médio da espécie *E. benthamii* (2,44) foi superior a outras espécies do gênero *Eucalyptus*, conforme indicado na tabela 19.

Tabela 19. Coeficiente de anisotropia encontrado para algumas espécies de *Eucalyptus*.

ESPÉCIE	T/R	AUTOR
<i>E. grandis</i>	1,44	CALVO et al. (2006)
<i>E. pillularis</i>	1,48	MONTEIRO et al.(2010)
<i>E. urophylla</i>	2,28	MONTEIRO et al.(2010)
<i>E. camaldulensis</i>	1,57	MONTEIRO et al.(2010)
<i>E. saligna</i>	2,06	BATISTA et al.(2010)
<i>E. dunii</i>	2,36	BATISTA et al.(2010)

Segundo a classificação de Galvão e Jankowsky (1985) e confirmando resultado preliminar já publicado para a espécie, o coeficiente anisotrópico apontou para uma madeira

dimensionalmente instável, com propensão ao surgimento de defeitos e alterações dimensionais.

Por ser comum encontrar valores elevados para este parâmetro, quando se considera a madeira de eucalipto, proveniente de árvores jovens e de rápido crescimento é importante a caracterização desta propriedade em plantios com idade mais avançada, com diferenças na estrutura anatômica e nas proporções de madeira juvenil e adulta, para que se possa confirmar o comportamento dimensional da espécie no processo de secagem e avaliar a viabilidade do uso industrial desta espécie, não apenas para uso da madeira maciça, mas para a produção de papel e painéis reconstituídos.

3.4.3 Propriedades mecânicas

3.4.3.1 Flexão estática

Não observou-se diferenças significativas na rigidez da madeira entre os espaçamentos avaliados ($p > 0,05$), a qual é representada pelo módulo de elasticidade da madeira (MOE). Os valores médios do MOE ficaram entre 8064 e 9220 MPa entre os espaçamentos avaliados. Os valores do módulo de ruptura (MOR) também não diferiram estatisticamente, sendo que a variação manteve-se entre 74 e 79 MPa (Tabela 20).

Tabela 20. Módulo de elasticidade e módulo de ruptura para o ensaio de flexão estática na madeira de *E. benthamii*, aos seis anos de idade.

Espaçamento (m)	MOE (MPa)	MOR(MPa)
3 x 2	8330 a	74 a
3 x 3	9220 a	78 a
4 x 3	9019 a	79 a
4 x 4	8064 a	75 a
CV (%)	32,45	22,41

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação.

Na figura 12, pode-se notar que a regressão linear explicou 75% da variação da resistência da madeira (MOR) em função sua rigidez (módulo de elasticidade).

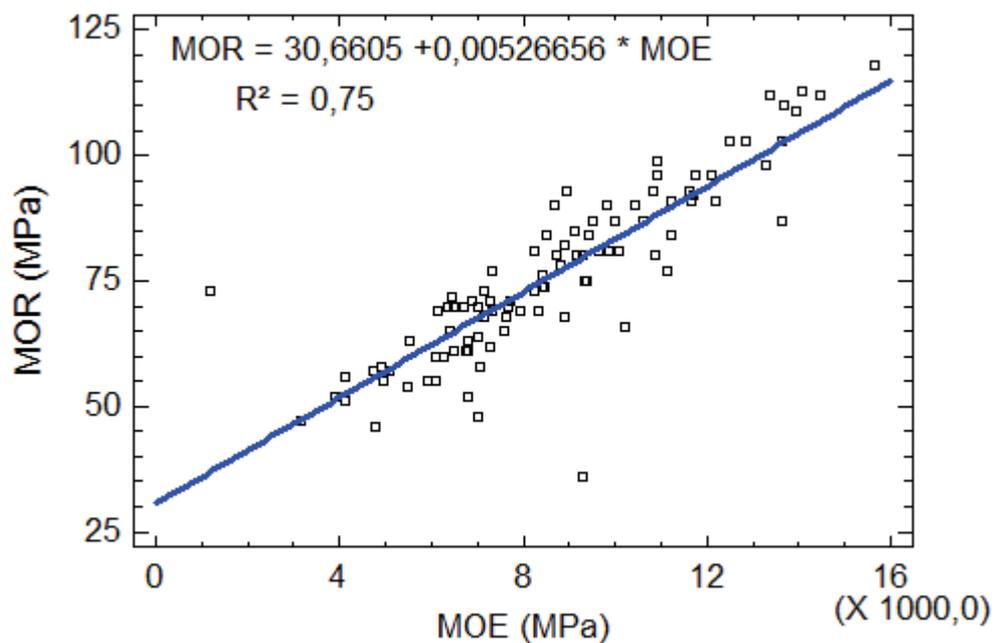


Figura 12. Módulo de ruptura em função da rigidez da madeira

Considerando-se o efeito do espaçamento de plantio, em clones de *E. saligna*, submetidos a diferentes espaçamentos de plantios e adubações, foi observado efeito destes fatores, sendo que áreas vitais e dosagens de adubo maiores, contribuíram no aumento da massa específica, módulo de elasticidade e módulo de ruptura da madeira com dez anos de idade (HASELEIN et al., 2002). Warren et al. (2009) avaliaram a resistência da madeira pelo método não destrutivo para três espécies de *Eucalyptus* (*E. dunnii*, *E. cloeziana* e *E. pillularis*) em diferentes densidades de plantio na idade de seis anos e concluíram que a resistência da madeira foi afetada negativamente nos espaçamentos com menor lotação de indivíduos. Os autores ainda observaram que bons valores de resistência da madeira foram obtidos com o emprego de densidades intermediárias (1250 arv. ha⁻¹) e que a resistência da madeira não incrementou conforme o aumento de indivíduos por unidade de área.

Já para a rigidez e a resistência de *Pinus taeda* com 18 anos de idade, na região de Otacílio Costa- SC, a adoção de diferentes espaçamentos de plantio não influenciaram os valores do módulo de elasticidade e de ruptura (PAULESKI, 2010).

França e Cunha (2012) avaliaram o módulo de elasticidade do *E. benthamii* aos 13 anos em relação à variação no teor de umidade (0 – 80%) e observaram valores médios oscilando entre 3120,1 a 10482 MPa, sendo que a 10% de umidade o valor registrado para o MOE foi de 7347,5MPa. Para o módulo de ruptura, os valores variaram de 39 a 126 MPa, sendo que com 10% de umidade o valor correspondente foi de 73 MPa. Os autores relatam

ainda forte correlação da umidade com as propriedades de resistência e com a densidade básica da madeira. Cunha et al. (2009) verificaram no ensaio de flexão estática que a resistência da madeira de *E. benthamii* foi de 78, 29 MPa, em amostras de madeira aos doze anos de idade.

Comparando-se ao módulo de elasticidade de outras espécies de *Eucalyptus* com idade de 16 anos, no estudo desenvolvido por Oliveira et al. (1997), o *E. benthamii* apresentou maior semelhança com o *E. grandis* (8584 MPa), *E. urophylla* (9398 MPa) e *E. pilularis* (9968 MPa). Já para o módulo de ruptura, os resultados do *E. benthamii* foram mais próximos ao *E. pilularis* (79MPa).

Em árvores jovens do híbrido *E. urophylla* x *E. camaldulensis* com 5,5 e 10,5 anos, foram registrados valores médios de MOE e MOR para o ensaio de flexão foram de 15054 e 94 MPa, respectivamente (CRUZ et al., 2003).

É importante destacar no presente estudo o rápido crescimento da espécie e a pouca idade das árvores de *E. benthamii*, como um fator que contribui para valores diferenciados das propriedades mecânicas, pois peças estruturais que apresentam determinada quantidade de lenho juvenil são representantes das classes inferiores de resistência da madeira (VIDAURRE et al., 2011).

Embora não seja recomendado utilizar o módulo de elasticidade como um único parâmetro para avaliar o comportamento de um determinado material, Klock (2000) afirma que baixos valores do MOE, representam materiais de características inferiores aos fins construtivos. Do contrário, quanto mais alto o valor do MOE, maior é a resistência e menor é a capacidade de ocorrer a deformação de um determinado material.

3.4.3.2 Cisalhamento e Compressão Paralela às fibras

A homogeneidade das variâncias dos dados foi comprovada para todas as características avaliadas. Não foram constatadas diferenças significativas entre os espaçamentos avaliados para a resistência ao cisalhamento ($p > 0,05$), sendo que os valores de resistência ao cisalhamento variaram entre 11 e 12 MPa (Tabela 21).

Martins (2011) relata a resistência ao cisalhamento em madeira sólida de *E. benthamii* com valores médios de 12,7 MPa. O valor é correspondente a estudos realizados por outros autores no mesmo lote de madeira que foi utilizado em seu trabalho, proveniente de uma população de *E. benthamii* com doze anos de idade na região de Otacílio Costa- SC.

Tabela 21. Resistência ao Cisalhamento (FVo), Resistência à Compressão Paralela às fibras (FCo) e Módulo de elasticidade no ensaio de Compressão (MOEc), na madeira de *E. benthamii*, aos seis anos de idade.

Espaçamento (m)	FVo (MPa)	FCo (MPa)	MOEc (MPa)
3 x 2	11,9 a	31,23 ab	4621,19 a
3 x 3	12,7 a	30,06 b	4963,31 a
4 x 3	11,4 a	33,35 ab	4693,28 a
4 x 4	12,2 a	34,87 a	4969,88 a
CV (%)	19,57	16,26	29,00

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação.

Com base nos dados do ensaio de compressão paralela às fibras, baixos valores de resistência e rigidez foram observados para a madeira de *E. benthamii*, aos seis anos de idade. Para a resistência à compressão paralela as fibras, foi observada diferença estatística entre os espaçamentos estudados ($p < 0,05$). A maior resistência (FCo) foi observada no espaçamento com 16m², seguido dos espaçamentos com 6 e 12 m², e por fim do espaçamento com 9 m² (Tabela 21).

Para o módulo de elasticidade (MOEc) não houve diferença entre os espaçamentos avaliados. Analisando a Tabela 21, não foi possível definir uma tendência no comportamento das propriedades da madeira entre os espaçamentos como a observada para a resistência a compressão paralela às fibras.

Em *E. grandis* aos 6,5 anos de idade, Hein e Lima (2012) verificaram no ensaio de compressão paralela valores médios para o módulo de elasticidade (ECo) e resistência a compressão (FCo) de 8096 MPa e 51,17 MPa, respectivamente. Outro fato observado foi a relação do ângulo das microfibrilas com a rigidez da madeira (-0,67) e com a resistência a compressão (-0,52), sugerindo que esta correlação pode ser um bom indicativo do comportamento mecânico da madeira, assim como da rigidez e resistência em plantios jovens e de curta rotação.

Para clones de *E. urophylla* e *E. camaldulensis* com 5,5 e 10,5 anos, o valor médio do MOEc verificado no ensaio de compressão paralela às fibras foi de 7657 MPa e o valor médio da resistência à compressão de 47 MPa. Os autores concluíram bom potencial de todos os clones avaliados para utilização na indústria madeireira, fato associado aos resultados das propriedades mecânicas e boa estabilidade dimensional da madeira (CRUZ et al., 2003)

3.4.3.3 Dureza

A homogeneidade das variâncias foi atendida com a transformação logarítmica dos dados para a dureza no sentido axial e radial, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Exceto no sentido tangencial, o espaçamento influenciou a dureza da madeira de *E. benthamii*, aos seis anos de idade ($p < 0,05$).

Com base na Tabela 22, foi possível observar que a madeira de *E. benthamii* apresentou maior resistência a penetração no sentido axial. Isso possivelmente está associado à disposição das fibras neste sentido e por ser um elemento que oferece sustentação e resistência mecânica à madeira. Os resultados verificados nos três sentidos avaliados (axial, tangencial e radial) estão de acordo com o relato de Moreschi (2012), o qual comenta que de modo geral a dureza no sentido axial é maior no sentido tangencial e este apresenta valores próximos da dureza no sentido radial.

Tabela 22. Dureza Janka observada no sentido axial, radial e tangencial, para a madeira de *E. benthamii*, aos seis anos de idade.

Espaçamento (m)	Axial (MPa)	Radial (MPa)	Tangencial (MPa)
3 x 2	45,09 a	36,92 a	40,44 a
3 x 3	38,09 c	32,84 b	38,55 a
4 x 3	41,48 ab	33,68 ab	38,09 a
4 x 4	42,04 ab	37,61 a	38,3 a
CV (%)	5,36	5,52	20,24

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV % - Coeficiente de variação.

Nos três sentidos avaliados, em alguns casos houve semelhança estatística entre os espaçamentos. É importante ressaltar que os valores de dureza foram mais pronunciados no espaçamento 3 x 2 (Tabela 22).

No sentido radial, o espaçamento mais amplo e o mais reduzido, apresentaram madeiras com maior capacidade de resistir à penetração de objetos. Entretanto, houve similaridade com o espaçamento com área vital de 12 m², e deste com o espaçamento de área vital igual a 9 m².

Na caracterização da madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* para a indústria moveleira, aos dezessete anos de idade, observou-se dentre outras propriedades, a dureza da madeira. Os autores encontraram valores médios de 52,07 MPa no sentido radial e 65,11 MPa no sentido axial, para o *E. grandis*. O destaque foi para o *E. cloeziana*, com 111,10 MPa no sentido radial e 163,47 MPa no sentido axial (GONÇALEZ, 2006).

Nos estudos mais recentes, a literatura mostra a caracterização das propriedades mecânicas após a termorreificação da madeira, processo que causa algumas alterações nas propriedades químicas da madeira, e também algumas limitações na utilização da madeira para fins industriais. Em *E. grandis* com 25 anos de idade, os valores de dureza Janka oscilaram entre 48,64 a 50,21 MPa na direção axial, 26,96 a 33,04 na direção tangencial e 26,47 a 36,28 no sentido radial, depois de diferenciados tratamentos térmicos na madeira. A autora concluiu significativa redução da dureza e de outras propriedades mecânicas avaliadas após a aplicação de tratamentos térmicos na madeira (MODES, 2010). A dureza observada após três tratamentos térmicos na madeira de *E. grandis* registrou valores mínimos de 30MPa, não ultrapassando 46 MPa para esta propriedade (ARAUJO, 2010). Desta maneira, é possível observar que na idade avaliada, as propriedades mecânicas da madeira de *E. benthamii* apresentam valores próximos a de madeiras que receberam algum tipo de tratamento térmico.

Considerando em conjunto as propriedades mecânicas da madeira de *E. benthamii* e a pouca idade das árvores, pode-se caracterizar a madeira com propriedades de baixa a média resistência mecânica. Como os resultados deste estudo são uma caracterização inicial das propriedades mecânica da madeira do *E. benthamii*, é de fundamental importância avaliar a evolução da resistência dessa madeira em árvores oriundas de plantios com mais idade.

3.4.4 Análise geral do espaçamento sobre as propriedades da madeira

Analisando globalmente os resultados, torna-se evidente que as diferentes áreas vitais entre plantas não foram suficientes para modificar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, deste modo qualquer um dos espaçamentos que se escolha para implantar uma floresta proporcionará madeiras com propriedades semelhantes até a idade observada neste estudo. Apesar dessa observação, é possível que indiretamente as alterações no ritmo de crescimento das árvores possam ter favorecido o aumento da proporção de madeira juvenil, a qual contribuiu para elevados valores de instabilidade dimensional e a baixa resistência mecânica da madeira, além de outros fatores que alteram negativamente as propriedades da madeira.

Nos casos em que foi registrado efeito do espaçamento sobre as propriedades da madeira, não foi possível definir claramente tendências entre os espaçamentos mais amplos (12 e 16m²) ou entre os mais reduzidos (6 e 9 m²), dificultando a explicação desse

comportamento em função da taxa de crescimento, que é uma das alterações relatadas quando se adota diferentes áreas vitais entre plantas.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, é importante destacar os resultados positivos observados para o menor espaçamento de plantio (3 x 2m), o qual é indicado como um espaçamento que garante a produção florestal, aproveitamento da área e do sítio florestal, facilidades à realização de operações florestais e a produção de madeira sem qualquer alterações nas propriedades físicas e mecânicas. Outro fato, é que apesar de ter sido verificado que algumas propriedades da madeira do *E. benthamii*, podem vir a dificultar o seu processamento como madeira serrada ou maciça, há grandes possibilidades para o uso da espécie como matéria – prima na forma de partículas, para a fabricação de produtos com valor agregado, como os painéis reconstituídos: MDF e MDP.

3.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os espaçamentos de plantio avaliados não causaram alterações significativas sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. benthamii*.

Quanto às variações das propriedades físicas da madeira de *E. benthamii*:

A densidade básica média não sofreu efeito do espaçamento de plantio, no entanto houve decréscimo desta propriedade com o aumento da altura de amostragem no fuste;

A estabilidade dimensional não foi afetada diretamente pelos diferentes espaçamentos de plantio, exceto a retração da madeira no sentido radial.

A posição de amostragem no fuste afetou a estabilidade dimensional da madeira (retração radial, tangencial e volumétrica e coeficiente de anisotropia).

Os valores de retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia do presente estudo apontam para uma madeira dimensionalmente instável.

Quanto às propriedades mecânicas da madeira de *E. benthamii*:

O espaçamento causou efeitos na resistência à compressão paralela às fibras e no ensaio de dureza, no sentido axial e radial.

Os valores registrados para as propriedades mecânicas aos seis anos de idade, mostraram possíveis efeitos da madeira juvenil, indicando madeira de baixa à média resistência.

Uma vez que as propriedades tecnológicas mantiveram-se similares com a variação do espaço vital entre plantas, o silvicultor deve garantir o aproveitamento da área e dos recursos, optando por espaçamentos mais reduzidos em florestas de rotação curta, sem quaisquer prejuízos à qualidade da madeira.

Para estudos futuros, sugere-se que as propriedades físicas e mecânicas da madeira do *E. benthamii* sejam investigadas por meio de ensaios não destrutivos, dentro de uma amplitude maior de espaçamentos de plantio e com amostras retiradas em povoamentos com árvores de mais idade e rotações mais longas, para validar a potencial utilização da madeira para fins estruturais, serrados e o processamento mecânico da madeira desta espécie.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J.L.; SILVA, H. D da. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para a produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ALZATE, S.B.A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S.M. de S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. 68, p.87-95, 2005.
- ARAÚJO, S. de O. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**. 2010. 77 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 7190/97 - Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. IPEF, Piracicaba. **Série técnica**. v.1, n3,p.1-16. 1980.
- BATISTA, D.S.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C.V.T. Densidade básica e retratibilidade da madeira três clones de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BERETA, N. Técnicos discutem o início do terceiro ciclo da madeira. Disponível em <<http://www.clmais.com.br/informacao/130909/?old>>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- CALVO, C. F.; COTRINA, A.D.; CUFFRÉ, A. G.; PITER, J.C.; STEFANI, P. M.; TORRÁN, E.A. Variación radial y axial del hinchamiento, del fator anisotrópico y de la densidad, en el *Eucalyptus grandis* de Argentina. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v.8, n.3. p. 159-168, 2006.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. COPANT- 463 – Método de determinación del cizallamiento paralelo el grano. Buenos Aires, 1972.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. COPANT- 464 – Método de determinación de la compresión axil paralelo al grano. Buenos Aires, 1972.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. COPANT- 465 – Método de determinación de la dureza. Buenos Aires, 1972.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. COPANT- 555 – Método de ensayo de flexión estática. Buenos Aires, 1973.
- CRUZ, C. R. da.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I.B de. Variações dentro de árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p.33-47, 2003.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento de madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR.

CUNHA, A. B.; MARTINS, S.A.; ANJOS, R. A. M. dos. **Caracterização da madeira de *E. benthamii*.** Universidade do Planalto Catarinense. Uniplac, 2009 (não publicado).

FRANÇA, M. C.; CUNHA, A. B da.; Determinação da relação resistência / rigidez e teor de umidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: **Anais do 4º Congresso Florestal Paranaense.** Curitiba, 2012.

GALVÃO, A. P. M.; JAKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo, Nobel, 1985.108p.

GONÇALEZ, J. C.; BRENDA, L. de C.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F. de; VALE, A. T. do. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J. T da S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p. 501- 509, 2009.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.; LOPES, M de C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.12. n.2. p. 147-152. 2002.

HEIN, P. R. G., LIMA, J. T. Relationships between microfibril angle, modulus of elasticity and compressive strength in eucalyptus wood. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.14, n.3, p.267-274, 2012.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2003. **Comunicado Técnico Nº 100.** 4 p.

KLITZKE, R. J. Curso de secagem da madeira. Módulo 1. UFPR, 2008. 143p. Disponível em <<http://www.madeira.ufpr.br/graduacao/secagemmadeira.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2013.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** 2000. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *E. benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL).** 2011. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília – DF.

MODES. K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.** 2010. 99 p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T, BARAÚNA, E.E. P.; CARVALHO.; D.M, LIMA, M.T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Gurupi, v.1, n.1, p. 6-11, 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. UFPR, 4ª edição. Curitiba, PR. 206 p, 2012.

LOULIDI, I.; FAMIRI, A.; CHERGUI, M.; ELGHORBA, M. The physical and mechanical properties of Eucalyptus hybrid E. camaldulensis x E. grandis: Comparison with its parental species. Research inventy: **International Journal of Engineering and Science**, v. 1, n.1, p.1-7, 2012.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 7, n.1, p. 279 – 291, 2000.

LASSERE, J.P.; MASON, E. P.; WATT, M.S.; MOORE, J.R.; Influence of initial planting spacing and genotype on microfibril angle, wood density, fibre properties and modulus of elasticity in *Pinus radiata* D. Don corewood. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1924–1931, 2009.

LIMA, I, L de.; LONGUI, E. L.; GARCIA,R.; LUCA, E.F de.; SILVA JÚNIOR, F.G da.; FLORSHEIN, S.M.B. Propriedades da Madeira de *Eucalyptus umbra* R. T. Baker em função do diâmetro e da posição radial na tora. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, p. 289-298, 2011.

LIMA, E. A de.; SILVA, H. D da.; LAVORANTI, O. J.; Caracterização dendroenergética das árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.1, n.65, p.9-7, 2011.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T dos S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.2, p. 315-322, 2011.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**, 1997. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia Cívil)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo- SP.

OMONTE, M.; VALENZUELA, L. Variación radial y longitudinal de la densida básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v.2, n.13, p. 211-224, 2011.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria –RS.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R.A.; LATORRACA, J.V.F; CARVALHO, A.M. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ. v.18, n.2, p.117-126, 2011.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas, **Circular Técnica**, 50).

REZENDE, M. A de.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. IPEF, Piracicaba, n.48/49, p.133-141,1995.

SILVA OLIVEIRA, J. T da.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; SCHNEIDER, P.R.; MENEZES, L.F. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.4, p.377-387, 2007.

TREVISAN, R.; DENARDI, L.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Efeito do desbaste e variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 393-399, 2012.

VIADURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J. T da S.; ARANTES, M.D. C. Lenho Juvenil e Adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.18, n.4, p. 469-480, 2011.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. 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.

WARREN, E.; SMITH, R. G. B.; APIOLAZA, L.A.; WALKER, J.C.F. Effect of stocking on juvenile wood stiffness for three *Eucalyptus* species. **New Forests**, v. 37, p. 241–250, 2009.

ANEXO 1

➤ **Análise de variância para o volume real entre os espaçamentos avaliados.**

H0: Não há diferença entre as variâncias das amostras.

H1: Existem diferenças entre as variâncias das amostras.

	Teste	P-valor
Bartlett's	1,00412	0,959

F tabelado > F calculado, aceita-se H0, ou seja, as variâncias da amostra são homogêneas, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

H0: Não há diferença nos volumes das árvores amostradas entre os espaçamentos

H1: Existe diferença nos volumes das árvores amostradas entre os espaçamentos

Fontes de variação	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F observado	P- valor
Tratamentos	3	0,1045	0,0348	1,39 ^{ns}	0,2536
Resíduo	75	1,8861	0,0251		
Total (Corr.)	78	1,9907			

F calculado < F tabelado, aceita-se H0, ou seja não há diferença nos volumes entre os tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade de erro.