

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

**ESTUDO COMPARATIVO DA MADEIRA E POLPAÇÃO DE *Eucalyptus*
urophylla E DO HÍBRIDO *E. urophylla* x *E. grandis* EM DOIS MODELOS
SILVICULTURAIS**

FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP
Setembro – 2012

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

**ESTUDO COMPARATIVO DA MADEIRA E POLPAÇÃO DE *Eucalyptus*
urophylla E DO HÍBRIDO *E. urophylla* x *E. grandis* EM DOIS MODELOS
SILVICULTURAIS**

FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP
Setembro – 2012

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

S725e Souza, Fábio Monteiro Leite de, 1988-
Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais / Fábio Monteiro Leite de Souza. - Botucatu : [s.n.], 2012
xi, 70 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - espaçamento. 2. Madeira - Qualidade. 3. Celulose. I. Sansígolo, Cláudio Angeli . II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

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

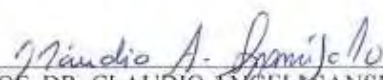
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTUDO COMPARATIVO DA MADEIRA E POLPAÇÃO DE *Eucalyptus urophylla* E DO HÍBRIDO *E. urophylla* x *E. grandis* EM DOIS MODELOS SILVICULTURAIS

ALUNO: FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. JOSÉ CLAUDIO CARASCHI

A glória de Deus.

Aos meus pais, Luciano e Sueli,
pelos exemplos, esforços e sacrifícios para a formação de
seus filhos.

A minha Irmã, Laís,
pelo carinho e alegria que sempre me
proporcionou.

A minha namorada, Aline,
pelo apoio, dedicação, carinho e amor.

A toda minha família, pela base sólida que sempre
me deu força para encarar a vida de frente.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida, pela capacidade e pelas bênçãos que são constantes por toda minha vida.

A minha família, que sempre foi e sempre será fundamental em minha vida. Principalmente a Tia Fátima e Tio João por todo apoio e incentivo aos estudos.

Ao Prof. Dr. Cláudio Angeli Sansígolo, pela orientação, por todo empenho, compreensão, amizade e constante dedicação em todas as etapas do projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – por ter acreditado na concepção deste trabalho, meus agradecimentos.

A Empresa Grupo Mutum – principalmente ao amigo Moacir Reis pelo apoio e fornecimento do material deste estudo.

Ao curso de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Estadual Paulista.

A todos os professores, funcionários e alunos do Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu, pela disponibilidade em ajudar sempre, e pela grande amizade.

A todos os amigos que ofereceram seu apoio durante a realização deste curso, e as pessoas que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a realização deste trabalho e tiveram seus nomes aqui omitidos.

Meus sinceros agradecimentos!

“Somente entendendo a madeira é que podemos
utilizá-la com inteligência”.

Frank Loyd

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	- vi -
LISTA DE TABELAS	- viii -
RESUMO	- 1 -
SUMMARY	- 2 -
1 INTRODUÇÃO.....	- 3 -
2 OBJETIVOS.....	- 5 -
3 REVISÃO DE LITERATURA	- 6 -
3.1 Características da madeira de <i>E. urophylla</i> e de <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	- 6 -
3.2 Característica do sistema de produção silvipastoril	- 8 -
3.3 Influência do espaçamento de plantio na qualidade da madeira de <i>Eucalyptus</i>	- 10 -
3.4 Influência da densidade básica na qualidade da madeira para polpação	- 13 -
3.5 Influência das propriedades químicas na polpação da madeira de <i>Eucalyptus</i>	- 16 -
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	- 19 -
4.1 Caracterização da área experimental.....	- 19 -
4.2 Caracterização do material.....	- 20 -
4.3 Amostragem das árvores	- 21 -
4.4 Determinação dos parâmetros dendrométricos e densidade básica da madeira	- 22 -
4.5 Composição química da madeira	- 24 -
4.6 Deslignificação Kraft da madeira e análises na polpa	- 24 -
4.7 Análise estatística.....	- 26 -
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	- 27 -
5.1 Efeito do sistema de produção silvipastoril nos parâmetros dendrométricos das árvores de <i>E. urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E.</i> <i>grandis</i>	- 27 -

	Página
5.1.1 Volume da árvore com casca.....	- 27 -
5.1.2 Volume da árvore sem a casca.....	- 28 -
5.1.3 Massa seca comercial da árvore	- 30 -
5.1.4 Porcentagem de casca em volume da árvore	- 31 -
5.1.5 Densidade básica média da casca	- 32 -
5.2 Efeito do sistema de produção silvipastoril nas propriedades físicas e químicas da madeira de <i>E. urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	- 34 -
5.2.1 Densidade básica média da árvore.....	- 34 -
5.2.2 Solubilidade da madeira em água fria	- 36 -
5.2.3 Solubilidade da madeira em água quente	- 37 -
5.2.4 Solubilidade da madeira em NaOH 1%.....	- 38 -
5.2.5 Extrativos totais da madeira.....	- 40 -
5.2.6 Teor de lignina da madeira	- 41 -
5.2.7 Teor de holocelulose.....	- 43 -
5.2.8 Teor de cinzas nas madeiras	- 45 -
5.3 Efeito do sistema de produção silvipastoril na polpação Kraft de <i>E. urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	- 47 -
5.3.1 Rendimento bruto de celulose	- 47 -
5.3.2 Rendimento depurado de celulose	- 49 -
5.3.3 Teor de rejeitos base celulose e base madeira	- 52 -
5.3.4 Número Kappa.....	- 53 -
5.3.5 Consumo específico de madeira	- 56 -
6 CONCLUSÕES	- 59 -
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 62 -

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização geográfica da área de estudo no município de Ribas do Rio Pardo-MS.....	- 20 -
Figura 2. Imagem do local da pesquisa; a) Talhão representando as espécies no espaçamento 3x3m; b) Talhão representando as espécies no espaçamento 9x2m.	- 20 -
Figura 3. Coleta do material para pesquisa. a) medição da altura total e comercial; b) cálculo e demarcação dos discos a serem retirados; c) corte dos discos com 5 cm de espessura; d) amostra representativa da árvore	- 21 -
Figura 4. Material utilizado para determinação da densidade básica. a) cunha da madeira sem casca; b) casca da madeira	- 23 -
Figura 5. Processo de deslignificação Kraft; a) Cápsula utilizadas no armazenamento dos cavacos; b) Digestor rotativo	- 25 -
Figura 6. Volume da árvore com casca em função da espécie e espaçamento.....	- 27 -
Figura 7. Volume da árvore sem casca em função da espécie e espaçamento.....	- 29 -
Figura 8. Massa seca comercial da árvore em função da espécie e espaçamento.....	- 30 -
Figura 9. Porcentagem de casca em volume na árvore em função da espécie e espaçamento	- 32 -
Figura 10. Densidade básica das cascas em função da espécie e espaçamento.....	- 33 -
Figura 11. Comportamento da densidade básica média da árvore em função da espécie e espaçamento	- 35 -
Figura 12. Solubilidade da madeira em água fria em função da espécie e espaçamento.....	- 37 -
Figura 13. Solubilidade da madeira em água quente em função da espécie e espaçamento.....	- 38 -
Figura 14. Valores da solubilidade da madeira em NaOH 1%.....	- 39 -

	Página
Figura 15. Extrativos totais da madeira em função da espécie e espaçamento.....	- 41 -
Figura 16. Teor de lignina da madeira em função da espécie e espaçamento.....	- 42 -
Figura 17. Teor de holocelulose da madeira em função da espécie e espaçamento.....	- 44 -
Figura 18. Teor de cinzas da madeira em função da espécie e espaçamento.....	- 46 -
Figura 19. Rendimento bruto de celulose com álcali ativo de 16% em função da espécie e espaçamento	- 48 -
Figura 20. Rendimento bruto de celulose com álcali ativo de 18% em função da espécie e espaçamento	- 48 -
Figura 21. Rendimento depurado de celulose com álcali ativo de 16% em função da espécie e espaçamento	- 50 -
Figura 22. Rendimento depurado de celulose com álcali ativo de 18 % em função da espécie e espaçamento	- 51 -
Figura 23. Número Kappa da celulose (álcali ativo de 16%) em função da espécie e espaçamento	- 54 -
Figura 24. Número Kappa da celulose (álcali ativo de 18%) em função da espécie e espaçamento	- 54 -
Figura 25. Consumo específico de madeira com álcali 16% em função da espécie e espaçamento	- 57 -
Figura 26. Consumo específico de madeira com álcali 18% em função da espécie e espaçamento	- 57 -

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Análise de variância geral para o volume da árvore com casca, m ³	- 28 -
Tabela 2. Análise de variância geral para o volume da árvore sem casca, m ³	- 29 -
Tabela 3. Análise de variância geral para massa seca comercial das árvores, Kg	- 30 -
Tabela 4. Análise de variância geral para porcentagem de casca em volume, %.....	- 32 -
Tabela 5. Análise de variância geral para densidade básica média da casca, g/cm ³	- 33 -
Tabela 6. Análise de variância geral para densidade básica média das árvores, g/cm ³	- 36 -
Tabela 7. Análise de variância geral para teor de solubilidade da madeira em água fria, %.....	- 37 -
Tabela 8. Análise de variância geral para teor de solubilidade da madeira em água quente, %.....	- 38 -
Tabela 9. Análise de variância geral para teor de solubilidade em NaOH 1 %, %	- 40 -
Tabela 10. Análise de variância geral para teor de extrativos totais da madeira, %	- 41 -
Tabela 11. Análise de variância geral para teor de lignina na madeira, %.....	- 43 -
Tabela 12. Análise de variância geral para teor de holocelulose na madeira, %.....	- 45 -
Tabela 13. Análise de variância geral para teor de cinzas nas madeiras, %.....	- 46 -
Tabela 14. Análise de variância geral nos dois níveis de álcali ativo para rendimento bruto de celulose, %	- 49 -
Tabela 15. Análise de variância geral nos dois níveis de álcali ativo para rendimento depurado de celulose, %.....	- 51 -

Página

Tabela 16. Teor de rejeito base madeira e base celulose nos dois níveis de álcali ativo dos quatro tratamentos, %.....	- 53 -
Tabela 17. Análise de variância geral para número kappa	- 55 -
Tabela 18. Análise geral do comportamento da espécie e do espaçamento para o consumo específico de madeira, m ³ mad/ton.cel.....	- 58 -

RESUMO

Este trabalho estudou a comparação da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em dois modelos silviculturais, comercial (3x3m) e silvipastoril (9x2m), na região de Ribas do Rio Pardo - MS. Os objetivos específicos foram comparar seus parâmetros dendrométricos, as propriedades físicas e químicas e a polpação Kraft da madeira das árvores nos dois modelos silviculturais. Foram coletadas 20 árvores (2 espécies x 2 espaçamentos x 5 árvores), em áreas com mesma característica de solo (areias Quartzosas) e idade aproximada de 4,5 anos. O maior espaçamento entre árvores (9x2m) reduziu significativamente a densidade básica média da árvore, aumentou a percentagem de casca em volume na árvore, elevou a solubilidade da madeira em NaOH 1%, reduziu o teor de holocelulose na madeira e aumentou o teor de cinzas, além disso as alterações nas características e propriedades da madeira devidas ao espaçamento entre árvores de *E. urophylla* promoveram diferenças consideráveis nos rendimentos da polpação e teores de rejeitos. Para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, os reflexos nos resultados da polpação foram menos perceptíveis.

Palavras-chave: Espaçamento, sistema silvipastoril, parâmetros dendrométricos, propriedades físicas e químicas da madeira, polpação Kraft.

COMPARATIVE STUDY OF WOOD AND PULPING OF *Eucalyptus urophylla* AND HYBRID *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* IN TWO MODELS FORESTRY

Botucatu, 2012, 70p.

Dissertation (Master Science in Forest Science) – Agronomical Science College, Universidade Estadual Paulista

Author: FÁBIO MONTEIRO LEITE DE SOUZA

Advisor: CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

SUMMARY

This work studied the comparison the wood and pulping of *Eucalyptus urophylla* and hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* in two models forestry, commercial (3x3m) and silvopastoral (9x2m) in the region of Ribas do Rio Pardo - MS, Brazil. The specific objectives were to compare their dendrometric parameters, physical and chemical properties and Kraft pulping of the wood from both silvocultural models. 20 trees were collected (2 species x 2 spacings x 5 trees) from areas with the same soil characteristic (Quartzose sands) between the trees of and approximate age of 4.5 years. The largest spacing between the trees (9x2m) significantly reduced the average basic density of the tree, increased the percentage of bark in volume of the tree, increased the wood solubility in NaOH 1%, decreased the holocellulose content in wood and increased the ash content; furthermore, the alterations of the wood characteristics and properties due to the spacing between *E. urophylla* provided considerable differences in the pulping yield and waste contents. For the wood of *E. urophylla* x *E. grandis* hybrid, the results of pulping were less perceptible.

Keywords: Spacing, silvopastoral system, dendrometric parameters, wood physical and chemical properties, Kraft pulping.

1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* spp. se apresenta com uma qualidade potencial das mais interessantes, devido à grande diversidade de espécies ligadas a uma boa capacidade produtiva e adaptação aos mais diversos tipos de clima e solo. Estes benefícios elevaram a atender quase todos os segmentos da atividade industrial, tais como lenha, carvão vegetal, celulose, painéis, construções, móveis, entre outros.

No estado do Mato Grosso do Sul, região conhecida tradicionalmente pela importância socioeconômica da cadeia produtiva da carne e do leite, a forma silvipastoril surge como uma oportunidade de diversificação da propriedade com o uso de pastagem, animais e árvores em associação simultânea numa mesma área.

O sistema silvipastoril pode trazer aumentos consideráveis da circulação de riqueza, favorecendo a industrialização da região através da disponibilidade de matéria-prima em maior quantidade e diversidade, promovendo aumento na oferta de emprego além de colaborar com a manutenção da qualidade dos solos, a ciclagem de nutrientes e o controle de erosões. É um mercado interessante para produtores regionais que podem agregar valor em suas propriedades sem perder a particularidade do mercado bovino.

A característica deste método de cultivo se define com a implantação da floresta em espaçamentos mais amplos, onde a partir da metade do segundo ano inicia-se a formação do pasto e o consórcio entre animal e planta. Estas florestas são de uso múltiplo com destinação final para serraria. Sendo que para um ciclo aproximado de 12 anos uma

porcentagem da madeira é desbastada, com intuito de diminuir a competição entre plantas e gerar maior disponibilidade de luz para um desenvolvimento máximo do produto final.

As madeiras de primeiro desbaste acabam sendo utilizadas para produção de energia ou até mesmo para uso geral dentro das propriedades, deixando que o produtor destine outras formas de comercialização. Como no estado estão sendo implantadas grandes empresas de produção de celulose e a região já contém áreas em plantios silvipastoril, o estudo surge com a ideia de analisar e caracterizar o desenvolvimento de clones de eucaliptos (*E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*) na região de Ribas do Rio Pardo-MS nos espaçamentos 3x3m com madeiras de primeiro desbaste de áreas de manejo silvipastoril com 9x2m.

Para a produção de celulose Kraft faz-se necessário o estudo da influência de parâmetros dendrométricos e propriedades físicas e químicas da madeira no processo de polpação Kraft nestes diferentes métodos de uso do solo. Espera-se que esta pesquisa venha acrescentar mais informações sobre o assunto e, principalmente, sobre as espécies clonais que estão sendo implantadas na região.

2 OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo geral o estudo comparativo da madeira e polpação do *Eucalyptus urophylla* e do *E. urophylla* x *E. grandis* no modelo de produção convencional (3x3m) e silvipastoril (9x2m).

Os objetivos específicos foram:

- Estudar os parâmetros dendrométricos das árvores provenientes dos dois modelos de produção de madeira.
- Analisar a influência do modelo de produção nas propriedades físicas e químicas das madeiras estudadas.
- Estudar a influência do modelo de produção de madeira na qualidade da polpação Kraft.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características da madeira de *E. urophylla* e de *E. urophylla* x *E. grandis*

Pode-se caracterizar o gênero *Eucalyptus* ssp., como uma das espécies potenciais mais plantadas no mundo, devido principalmente a suas características fenológicas e a adaptações nas diferentes condições ambientais, resistência ao déficit hídrico, rápido desenvolvimento e boa resistência a doenças, fatores que elevaram este gênero a expansão no mercado brasileiro, devido as suas potencialidades apropriadas para as condições do país, em função das suas inúmeras vantagens (OLIVEIRA, 1997; BARCELLOS et al., 2005). Este gênero possui aproximadamente 700 espécies botânicas, apropriadas para os mais diversos usos do setor industrial, e que em 2006 se tornou matéria-prima importante para a economia de mais de cem países, englobando uma área superior a dezenove milhões de hectares no mundo (SILVA e XAVIER, 2006).

Introduzido no Brasil por Navarro de Andrade em 1904, para atender a demanda de madeira da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, sua madeira ao longo dos anos, tornou-se matéria-prima estratégica para usos tradicionais como lenha, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras, serrarias, entre outros. Suas características químicas, físicas e mecânicas, elevaram esta espécie à aceitação no mercado industrial, o que auxiliou na minimização do uso de florestas nativas como fonte de matéria prima (PERREIRA et al., 2000).

As espécies mais importantes nos plantios florestais do Brasil, em termos de produtividade de madeira são os *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. cloeziana*, *E. dunnii* e *E. paniculata*, além da espécie *Corymbia citriodora*, anteriormente classificada botanicamente como *E. citriodora* (EVANGELISTA, 2007).

Entre as espécies que foram estudadas, o *E. urophylla*, caracteriza-se por ser uma das únicas espécies de eucalipto de ocorrência natural fora do território australiano, esta espécie se encontra em regiões do Timor e em ilhas a leste do arquipélago indonésio, em altitudes variando de 400 até 3.000 m. Considerada no Brasil uma das espécies mais plantadas e de maior potencial econômico, devido a sua adaptabilidade as diferentes condições de clima e solo, boa resistência às doenças e amplo espectro de uso de sua madeira, cuja densidade básica fica ao redor de 0,500 g/cm³ (SILVA e XAVIER 2006; EVANGELISTA; 2007). Já o *E. grandis* é uma espécie que é nativa da costa leste da Austrália e que tem como uma das principais características o seu grande crescimento em volume e altura, variando entre 43 a 55 metros, além de possuir excelente forma de tronco e densidade básica média em torno de 0,360 g/cm³ (PERREIRA et al., 2000).

Entre os híbridos, destaque para o Eucalipto urograndis, que é um clone desenvolvido no Brasil, através do cruzamento do *E. urophylla* x *E. grandis*. Estas espécies possuem características diferenciadas que unidas elevaram a qualidade deste híbrido. O objetivo do cruzamento entre as espécies foi obter plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis* e um leve aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, características do *E. urophylla*. A rusticidade, propriedades da madeira e resistência ao “déficit” hídrico do *E. urophylla* também fazem parte deste interesse no cruzamento entre as espécies. Atualmente no Brasil são cultivados cerca de 600.000 ha com este híbrido, constituindo a base da silvicultura clonal brasileira (MORAIS, 2006; SILVA e XAVIER, 2006; EVANGELISTA, 2007; GONÇALVES, 2009). Milagres (2009), afirma que o cruzamento entre o *E. urophylla* e *E. grandis* se mostrou altamente adaptado à indústria de celulose e papel, no que diz a respeito à densidade básica, química da madeira e processamento da madeira em polpa, apresentando altos rendimentos e alta qualidade da polpa produzida.

3.2 Característica do sistema de produção silvipastoril

Pode-se caracterizar os sistemas silvipastoris, como uma modalidade dos sistemas agroflorestais (SAFs), que na verdade são associações naturais, planejadas ou convertidas de pastagens e gado rotacionadas numa mesma área ao mesmo tempo e manejadas de forma integradas com espécies arbóreas potenciais para promover melhor aproveitamento dos recursos naturais com objetivo de incrementar a produtividade por unidade de área. Nesses sistemas, ocorrem interações em todos os sentidos e em diferentes magnitudes visando maior diversidade produtiva na propriedade rural (GARCIA e COUTO, 1997; SILVA e XAVIER 2006).

Segundo Gomes (2000); Silva e Xavier (2006); Nepomuceno et al. (2009); Campos et al. (2010), as principais vantagens ambientais de modelos silvipastoris são as melhores ocupações do sítio ecológico; aumento da matéria orgânica no solo, pela queda de folhas, flores e frutos, que serão decompostos por microorganismos do solo; melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, através da ciclagem e a reciclagem de nutrientes das espécies florestais; retenção e conservação da água no solo; controle da erosão; aumento da produtividade em relação aos monocultivos; redução das variáveis microclimáticas, além da diminuição dos riscos de perdas de produção.

Macedo et al. (2010), afirmam que nos últimos anos, tem aumentado o reconhecimento dos benefícios ambientais potenciais formados pelos sistemas agrossilvipastoris e silvipastoris, de modo que vários tipos de sistemas em estudo em instituições de pesquisa, começam a ser adotados em propriedades particulares e empresas comerciais, que buscam de certa forma, a diversificação e otimização de culturas em suas propriedades.

Um requisito fundamental para o sucesso de sistemas silvipastoris sustentáveis é a escolha acertada das espécies componentes do sistema, dentre eles, o objetivo final da exploração, as condições edafoclimáticas da região, declividade do terreno, e principalmente as condições de mercados dos produtos cultivados. A distribuição espacial das árvores também é um importante elemento estrutural das pastagens arborizadas, pois definirá a real proteção do rebanho e das pastagens além da conservação do solo e água. (PACIULLO et al., 2006; MACEDO et al., 2008; MACEDO et al., 2010).

A quantidade de luz no sub-bosque necessária para o desenvolvimento do pasto depende da espécie, do espaçamento e da idade das árvores. Kruschewsky et al. (2006) afirmam que a radiação solar no sub-bosque de povoamentos de eucalipto torna-se decisiva para implantação de culturas intercalares e consórcio com pastagens em sistemas agrossilvipastoris, interferindo no período de permanência e produtividade das culturas anuais e da própria forrageira. Neste contexto, os eucaliptos apresentam-se como espécies potenciais, devido principalmente, a sua adaptabilidade e rápido desenvolvimento, além de apresentar em sua estrutura arbórea geralmente copas estreitas que deixam penetrar razoável quantidade de luz ao solo, auxiliando no desenvolvimento de plantas forrageiras além de fornecer sombra aos animais (MACEDO et al., 2008).

Garcia e Couto (1997) relatam que a contribuição de matéria orgânica do eucalipto, com folhas e galhos na manta orgânica acumulada é superior à produção de material morto de gramíneas, apresentando assim uma vantagem na ciclagem de nutrientes com a utilização de eucaliptos em sistema de pastejo exclusivos com gramíneas.

Botelho (1998), Macedo et al. (2000) e Macedo et al. (2010) comentam que poucos estudos foram desenvolvidos em sistemas agrossilvipastoris, visando avaliar o eucalipto em variadas condições de plantio, uma vez que a maioria dos estudos concluídos aborda espaçamentos em torno de dois a três metros entre plantas e entrelinhas em arranjos simplificados e que a abordagem dos estudos sobre espaçamento, densidade, e qualidade da madeira negligenciou, na maioria dos casos, formas alternativas de cultivos além das monoculturas, especialmente no que tange a implantação de sistemas agrossilvipastoris e silvipastoris que necessitam de uma avaliação desses fatores, desde a dinâmica inicial de crescimento, até estudos sobre clones adaptados, manejo e qualidade do produto final.

Garcia e Andrade (2001) comentam que os sistemas silvipastoris com eucaliptos iniciaram no final da década de 70, e estão concentrados, basicamente, em regiões do estado de Minas Gerais, e expandindo para regiões como sudeste de São Paulo e principalmente em regiões do Mato Grosso do Sul.

No caso do estado de Mato Grosso do Sul, de onde se trata esta pesquisa, dos quase 26 milhões de hectares, 63% são utilizados com pastagens e 16% estão com florestas e outros tipos de vegetação naturais, sendo que, estas áreas em pastagem apresentam condições climáticas de estresse térmico para os animais principalmente em

épocas de outubro até março, além da estacionalidade de produção de forrageira com cerca de 70 % na estação úmida e 30% na estação seca, demonstrando assim a importância do consórcio de culturas para esta determinada região (SILVA, 2003; NICODEMO et al., 2004).

Nicodemo et al. (2004) estudou a importância ambiental, social e econômica dos sistemas agroflorestais, e concluiu que essas atividades apresentam alto custo de implantação e manutenção, pois se trabalha com uma diversificação de produtos na propriedade, apresentando desta forma retornos financeiros desde os primeiros anos de implantação. Além disso, outro aspecto positivo é a exploração de madeira na propriedade pecuária de acordo com as possibilidades de o usufruto ou o corte da madeira ser feitos conforme a oportunidade da época, da rentabilidade da floresta e outros, de forma que a idade ótima de rotação, ou do desbaste, ou da talhadia, não seja necessariamente pré-determinada como na agricultura. Assim, os plantios florestais permitem flexibilidade nos cortes de modo a maximizar os lucros (GRAÇA et al. 2000).

Oliveira et al. (2000) realizaram uma análise econômica em sistemas agrossilvipastoril utilizando o consórcio de eucalipto com arroz e soja nos primeiros anos e pastagens nos anos posteriores, e verificaram que é uma opção viável economicamente, desde que, pelo menos, 5% da madeira produzida sejam usados para serraria e as madeiras restantes sejam usadas para outros fins como energia, celulose, moirões que alcance desta forma, valor igual ou mais alto no mercado.

3.3 Influência do espaçamento de plantio na qualidade da madeira de *Eucalyptus*

O espaçamento tem influências marcantes na produção e qualidade da madeira, por isso a escolha do melhor espaçamento na maioria dos planejamentos florestais, tem se fundamentado simplesmente no uso final da madeira, negligenciando-se outros envoltimentos ecológicos/silviculturais de suma importância como a competição por luz, umidade e nutrientes (SCOLFORO, 1997). O espaçamento tem uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico. Ele afeta as taxas de crescimento das plantas, qualidade da madeira, idade de corte, bem como as práticas de exploração, manejo florestal e, conseqüentemente os custos de produção (MORA e GARCIA, 2000; SILVA, 2005). É preciso tomar toda a precaução para decidir sobre o espaçamento inicial,

principalmente no manejo de povoamentos de eucaliptos cujo objetivo é a produção de madeira industrial de rápido crescimento e densidade adequada. As decisões sobre o melhor espaço entre árvores não podem ser tomadas sem o conhecimento mais preciso da influência do mesmo na qualidade dos produtos obtidos (BRASIL e FERREIRA, 1971).

Em nossas condições, a maioria dos plantios comerciais tem sido implantada com vistas à produção de madeira para carvão vegetal, celulose e/ou chapas de fibras, esses espaçamentos são característicos por apresentarem menor área útil por planta em relação aos espaçamentos para produção de madeira serrada (BALLONI e SIMÕES, 1980). Além disso, outra forma de trabalhar com o espaçamento é considerando a diversidade de comportamento das espécies e as diferentes qualidades de madeira exigidas pelo mercado, podendo ser uma variável controlada pelas práticas silviculturais na obtenção de multiprodutos com o objetivo de atender não apenas uma determinada indústria, e sim agregar valores na floresta com a prática do uso múltiplo da madeira (SCOLFORO, 1997; BOTELHO, 1998).

A escolha da densidade inicial varia com o sítio, espécie e com o produto final desejado. Um estoque inicial muito alto produz o máximo de madeira em rotações curtas, resultando em madeira de pequenas dimensões. As madeiras de alto valor comercial (maiores dimensões) são obtidas com plantio em baixa densidade inicial ou por meio de desbastes no povoamento (BOTELHO, 1998).

Para a mesma espécie e local, o espaçamento pode influenciar no diâmetro das árvores, na altura, conicidade, no número de tratos culturais, na taxa de crescimento da floresta, no volume de madeira produzido, no sortimento de madeira, na taxa de mortalidade e dominância, na estagnação do crescimento, nas práticas de implantação, do manejo e de exploração, na qualidade da madeira, no volume das copas, idade de rotação e os custos de produção (SMITH, 1962; BALLONI e SIMÕES, 1980; SILVA, 1984; BOTELHO, 1998; SILVA, 2005; EVANGELISTA, 2007).

Bernardo (1995) estudando a influência de três espaçamentos 3,0 x 1,5m; 3,0 x 3,0m; 3,0 x 4,0m verificou que, aos 41 meses de idade, as plantas de *E. urophylla* e *E. pellita*, nos menores espaçamentos 3,0 x 1,5m, apresentaram galhos finos e sem folhas, em avançado processo de senescência, enquanto que no maior espaçamento 4,0 x 3,0 m, as plantas apresentaram maior desenvolvimento em DAP com a presença de galhos mais grossos e com folhas na parte basal da copa.

Vital et al. (1981) estudando as possíveis variações na produção em peso e na qualidade da madeira de *E. grandis* e *E. urophylla* com 52 meses de idade, na região de Curvelo, Minas Gerais, concluíram que não houve, até esta idade, efeito significativo do espaçamento na densidade básica média da árvore, densidade básica no DAP e densidade básica da casca. A maior produção por hectare foi obtida com o espaçamento 3,0 x 0,5m, que continha, também, o maior número de árvores por ha.

Morais (2006) estudou a influência do crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais e concluiu que a produtividade individual das madeiras aos 7 anos de idade foi superior nos espaçamentos mais amplos, sendo que o crescimento em diâmetro acompanhou a área útil disponível para cada planta.

Goulart et al. (2003) estudaram a relação da densidade básica e massa seca de madeira de *E. grandis* W Hill ex- Maiden com aproximadamente 10 anos de idade em função de 12 espaçamentos de plantio onde foram destacados os espaçamentos 2,0 x 1,5m com 0,470 g/cm³ e 4,0 x 3,0m com 0,380 g/cm³ e concluíram que o aumento do espaço vital entre plantas, reduziu a densidade básica da madeira e a massa seca comercial.

Resultados opostos foram encontrados por Miranda et al. (2003) que estudaram as propriedades relevantes para polpação da madeira em árvores de *E. globulus* de plantações com diferentes espaçamentos (3 x 2, 3 x 3, 3 x 4, 4 x 4 e 4 x 5m), aos 18 anos de idade. E observaram que a densidade básica da madeira variou de 565 kg/m³ para 594 kg/m³, respectivamente, nos espaçamentos de (3 x 2m) e no de (4 x 5m) e Berger (2000) que estudou o efeito do espaçamento (3 x 2, 3 x 3 e 3 x 4m) e da adubação (400 e 800 kg/ha) sobre o crescimento e a qualidade da madeira de um clone de *E. saligna* Smith e também concluiu que o fator espaçamento (espaço vital) influenciou significativamente a densidade básica, sendo que o maior espaço vital (12 m²) esteve associado a um aumento desta característica. A explicação para estes resultados é que as madeiras de árvores que crescem mais livremente começam a produzir madeira adulta precocemente, alcançando níveis máximos de densidade mais rapidamente (MALAN e HOON, 1992; LIMA, 2005).

Miranda et al. (2009) estudaram o desenvolvimento do cerne e alburno em árvores de *E. globulus* com 18 anos de idade provenientes de plantações para polpação com diferentes espaçamentos (3 x 2, 3 x 3, 4 x 3, 4 x 4 e 4 x 5 m), na seção transversal de

discos tomadas à altura do peito e concluíram que os fatores de crescimento das árvores, tais como largura dos espaçamentos, vai induzir a formação de cernes maiores que podem impactar negativamente a qualidade da matéria prima para celulose.

Mello et al. (1976) estudou a influência de dois espaçamentos de plantio (3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m) e de duas idades de corte (7 e 9 anos) no desenvolvimento de quatro espécies (*E. saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. propinqua*) visando os rendimentos de madeira industrial para a produção de celulose e concluiu que aos 7 anos de idade, a produção expressa em peso de madeira seca por ha do *E. urophylla* foi superior a do *E. grandis*, *E. saligna* e do *E. propinqua*. Aos 9 anos de idade a produção do *E. saligna* igualou-se a do *E. urophylla*.

3.4 Influência da densidade básica na qualidade da madeira para polpação

A densidade básica é adotada como um das mais importantes propriedades para definição da qualidade da madeira, devida à mesma estar diretamente relacionada às principais características químicas, físicas, mecânicas e anatômicas da madeira (SHIMOYAMA e BARRICHELLO, 1991).

A variação da densidade básica ocorre entre espécies e também dentro da própria árvore (MILAGRES, 2009). Suas variações dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da densidade básica da madeira está geralmente relacionada ao aumento da espessura da parede celular das fibras em relação, por exemplo, a proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução da densidade na madeira (LEPAGE, 1986; OLIVEIRA, 1997; OLIVEIRA e SILVA, 2003).

Pereira et al. (2000) concluíram que a densidade básica da madeira é uma das principais características a serem consideradas, uma vez que está relacionada com alguns aspectos tecnológicos como a contração e o inchamento da madeira, a resistência mecânica, o rendimento e qualidade da polpa celulósica e a produção e qualidade do carvão vegetal. Milagres (2009) também relaciona a densidade básica com outros aspectos de qualidade da madeira como as dimensões das fibras, teores de vasos, parênquima e extrativos da madeira.

Foelkel et al. (1971) relaciona a importância da densidade básica para a indústria de celulose e papel entre os seguintes aspectos: rendimento bruto de celulose, velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento relacionado ao processo de deslignificação, o refino da celulose e propriedades físico-mecânicas da polpa em relação à resistência ao rasgo, resistência à ruptura, arrebentamento e peso específico aparente.

Um estudo elaborado por Queiroz et al. (2004) estudando a influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* indicou que a madeira de menor densidade 447 kg/m³ apresentou menor requerimento de álcali para produção de polpa, maior rendimento depurado e viscosidade da polpa mais elevada, e a madeira de maior densidade 552 kg/m³ proporcionou polpa branqueada com melhores características de opacidade e de coeficiente de dispersão de luz, quando refinada. As propriedades mecânicas e estruturais das polpas não foram afetadas significativamente pela diferença de densidade básica.

Alzate et al. (2005) estudaram a variação da densidade básica da madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e de *E. grandis* x *E. urophylla* com oito anos de idade no município de São Miguel Arcanjo-SP e concluíram que para *E. grandis* a densidade teve um decréscimo até 50 % da altura comercial seguido de um aumento até o ápice; para *E. grandis* x *E. urophylla* foi verificado um aumento da densidade no sentido base topo; e para *E. saligna* (similiar aos apresentados pelo *E. grandis* e pelo híbrido). A densidade básica média da madeira foi mais alta no híbrido com 0,49 g/cm³ seguida no *E. saligna* 0,47 g/cm³ e *E. grandis* 0,46 g/cm³.

Benjamin (2002) estudando o comportamento das propriedades da madeira, encontrou variações da densidade no sentido longitudinal (ao longo do fuste, associadas às diferentes alturas na árvore) e no sentido transversal (associadas aos anéis de crescimento e aos diferentes tipos de lenho), que são avaliadas no sentido medula-casca.

Miranda et al. (2001) comenta que a densidade da madeira é ao lado do crescimento o parâmetro de seleção mais importante em programas de melhoramento para polpação. Estes autores estudaram a variação da densidade básica da madeira de *E. globulus* aos sete e aos nove anos de idade. Foi medida a densidade básica de 37 procedências cultivadas em três locais diferentes. E encontraram variações significativas de densidade básica entre 492 kg/m³ a 600 kg/m³ influenciada apenas pela procedência, mas não pelo local.

Fernandes et al. (2011) avaliando a influência da produtividade de 15 clones híbridos de eucalipto no extremo sul da Bahia concluíram que a produtividade influenciou negativamente a densidade das madeiras estudadas, sendo que os clones que apresentaram maior densidade básica resultaram em menor rendimento de celulose. Apenas o nível mais baixo de produtividade resultou em menor rendimento de polpação e não houve correlação entre rendimento de polpação e a carga de álcali.

Barrichelo et al. (1983) e Queiroz et al. (2004) encontraram, também, relação inversa entre densidade e rendimento de celulose.

Esta relação inversa de comportamento pode estar relacionada à maior dificuldade de impregnação dos cavacos de maior densidade, o que resulta em maior demanda de álcali no cozimento e, conseqüentemente, em rendimento mais baixo (BARRICHELO et al., 1983; QUEIROZ et al., 2004 e FERNANDES et al., 2011).

Ribeiro e Zani Filho (1993) estudando a variação da densidade básica da madeira de eucaliptos para diferentes espécies/procedências em quatro regiões do estado de São Paulo com idades aproximadas entre 65 a 80 meses de idade encontraram valores de amplitude para densidade básica entre 0,560 a 0,668 g/cm³ para *E. pellita*, 0,529 a 0,587 g/cm³ no *E. urophylla*, 0,374 a 0,535 g/cm³ no *E. grandis*, 0,459 a 0,580 g/cm³ no *E. dunnii* e 0,360 a 0,518 para *E. saligna*. Ferreira et al. (1972) estudando a densidade básica de *E. grandis* na idade entre 11 a 16 anos encontraram valores de densidade entre 593 kg/m³ a 598 kg/m³. Vale et al. (2002) e Cruz et al. (2003) estudando *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, encontraram valores médios em torno de 500 kg/m³ para ambas as espécies e Oliveira (1997) estudando *E. urophylla*, encontrou valores médios de 540 kg/m³.

Madeiras com baixas densidades levam a redução do rendimento volumétrico em celulose, enquanto madeiras com maior densidade apresentam dificuldades de picagem e impregnação de cavacos, consomem mais reagentes e levam a baixos rendimentos gravimétricos e teores mais elevados de rejeitos. Para o setor de celulose a faixa de densidade adequada para produção tem que variar de 400 kg/m³ a 550 kg/m³. (QUEIROZ et al, 2004; TRUGILHO et al., 2005; SANTOS e SANSÍGOLO, 2007; MILAGRES, 2009).

3.5 Influência das propriedades químicas na polpação da madeira de *Eucalyptus*

A constituição química da madeira é classificada pelos componentes fundamentais que são os constituintes macromoleculares como celulose, hemiceluloses e a lignina, que representam cerca de 95% da estrutura total da madeira. Os outros 5% são classificados como compostos acidentais que são aqueles que não tomam parte essencial da formação da estrutura da madeira, mas desempenham funções acessórias como os extrativos da madeira (BARRICHELO e BRITO, 1985; LEPAGE, 1986; BOWYER et al., 2003).

Costa (2011) caracterizou as propriedades químicas e a qualidade da madeira de *E. urophylla* x *E. grandis* com seis anos de idade para produção de celulose utilizando-se o processo Kraft convencional. O autor concluiu que a composição química encontrada no material foi de 27,13% para lignina, 64,77 % para holocelulose, além de um elevado teor de extrativos totais (8,1%). As polpas celulósicas apresentaram rendimentos acima de 57% em cozimentos com baixa carga alcalina, apresentando um bom nível de deslignificação em cozimentos brandos, bons rendimento e tecnologias apropriadas para a produção de polpa celulósica.

Já um estudo elaborado por Gouvêa et al. (2009), onde avaliou as características químicas da madeira e a produção de polpa celulósica Kraft em seis clones da espécie *Eucalyptus* spp com aproximadamente três anos de idade. Os autores concluíram que a composição química da madeira foi muito influenciada pelo tipo de clone, local de plantio e interação, sendo que os locais mais montanhosos foram os que produziram madeira com maior teor de celulose e menor de hemiceluloses. A amplitude média dos teores de componentes químicos da madeira foi de aproximadamente 39,0 a 45,0 % para celulose; 22,0 a 27,0% para hemiceluloses; 28,0 a 31,0 % para lignina e 0,70 a 1,20 % para teor de extrativos. Sendo que os melhores rendimentos de polpação foram associados a baixos teores de lignina destacando o clone híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* com 53,8 a 53,4%.

Trugilho et al. (2005) analisaram a composição química e produção de polpa celulósica Kraft em madeiras de 15 clones de *Eucalyptus* com 5,8 anos de idade. Concluíram que clones com maiores teores de celulose e menores de lignina produziram polpas com rendimentos maiores e número kappa menores. Os melhores clones apresentaram rendimentos depurados médio de 51,6% e viscosidade de 58,2 cP. Além disso, tais clones

utilizaram a menor quantidade de álcali ativo (17,63%) para obtenção de polpa com número kappa de 18. A carga de álcali ativo apresentou correlação negativa e significativa com a viscosidade e o rendimento depurado da polpa celulósica.

Magaton et al. (2002) estudaram a caracterização química de seis espécies de eucalipto e concluíram que os teores de lignina para madeiras de *E. globulus* (26,7%), *E. nitens* (25,3%) e *E. dunnii* (24,5%) foram inferiores as madeiras dos três eucaliptos mais utilizados no Brasil para a produção de celulose, ou seja, *E. grandis* (27,8%), *E. urophylla* (28,6%) e *E. urophylla* x *E. grandis* (28,0%). Já o estudo de Andrade et al. (2010) encontraram valores de 23,5% de lignina insolúvel para o *E. grandis*, 26% para a espécie *E. saligna* e 29% para *E. pellita*.

Santos e Sansígolo (2007) estudaram a influência da densidade básica de dois clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (440 kg/m³ e 508 kg/m³). Encontraram teores de holocelulose (67,12%), lignina total (29,59%), e extrativos totais (3,29%) no clone de menor densidade, e (64,61%), (31,52%) e (3,87%) nos clones de maior densidade, respectivamente. Concluíram que a polpa do clone de menor densidade foi mais indicada para a fabricação de papéis de imprimir e escrever.

Ferreira et al. (2006) estudaram as propriedades físicas e químicas e a polpação de 12 clones de eucaliptos provenientes do extremo sul da Bahia. Encontraram valores de densidade básica entre 0,449 a 0,552 g/cm³, teores de lignina entre 29,0 a 30,6 %, teores de hemiceluloses de 18,0 a 20,6% e teores de celulose entre 47,1 a 49,7%. Concluíram que o rendimento da polpa não branqueada apresentou uma correlação positiva com o teor de celulose e negativa com o teor de lignina da madeira sendo que todos os clones analisados apresentaram rendimento acima de 50% demonstrando a alta qualidade de madeira destes clones.

Busnardo e Foelkel (1979) estudaram a penetração do licor Kraft no interior dos cavacos de *E. urophylla* com o aumento de temperatura e tempo de cozimento e observou que ocorriam perdas sensíveis de material logo no início do cozimento da madeira do *E. urophylla*. A 100°C, já se haviam perdido por volta de 12% em peso da madeira, representados pelos extrativos e hemiceluloses. Além disso, foi observada uma deslignificação mais intensa por volta de 145°C, quando diminuições marcantes ocorriam no rendimento e no número kappa, e aumento considerável ocorria no teor de sólidos do licor residual.

Mokfienski et al. (2003) avaliaram os parâmetros de qualidade de dez madeiras de eucaliptos no rendimento do processo de polpação Kraft e na qualidade da polpa branqueada. Encontraram valores de densidade básica variando entre 544 kg/m³ a 365 kg/m³, os teores de lignina total entre as madeiras variaram entre 24,2% a 28,8 % e extrativos solúveis em álcool/tolueno entre 1,28% a 2,66 %. O teor médio de celulose das dez madeiras avaliadas foi de 47,7% sendo o valor máximo de 52,1% e o mínimo de 38,2%, enquanto que o teor médio de hemiceluloses foi de 19,6%, sendo o valor máximo de 26,3% e o mínimo de 16,8%. Estes autores concluíram que madeiras com baixos teores de lignina e de extrativos e maiores teores de celulose e hemiceluloses propiciaram melhor desempenho da polpação em termos de rendimento e consumo de álcali.

Tendo em vista que o objetivo da polpação é a remoção seletiva da lignina e liberação da porção fibrosa da madeira, maiores teores de polissacarídeos e menores teores de lignina, extrativos e cinzas vão propiciar no melhor desempenho da qualidade da polpa em termos de rendimento final de celulose (MAGATON et al., 2002; MOKFIENSKI et al., 2003; QUEIROZ et al., 2004; TRUGILHO et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; SANTOS e SANSÍGOLO, 2007; GOUVÊA et al., 2009; ANDRADE et al., 2010; COSTA, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

A área experimental pertence ao Grupo Mutum (Mutum Reflorestamento), Fazenda Boa Aguada, localizada no município de Ribas do Rio Pardo, região sudeste do estado de Mato Grosso do Sul, nas coordenadas geográficas 20°26'31'' S e 53°16'54'' W, a uma altitude aproximada de 470 metros (Figura 1).

O clima predominante na região é tropical classificação Köppen Cwa, quente e semi-úmido, marcado por chuvas no verão e períodos secos durante o inverno. A temperatura anual é de aproximadamente 25°C, tendo uma média mensal de 18°C na estação mais fria e 29,0°C na mais quente. A precipitação média anual é de 1.200mm a 1.500mm anuais, concentradas no período que vai de novembro a início de março (Mato Grosso do Sul, 1989).

A vegetação é constituída por um conjunto geográfico uniforme, localiza-se na zona neotropical e pertence aos domínios da região fitogeográfica da savana. Sua cobertura vegetal autóctone apresenta-se com as fisionomias de savana arbórea aberta. Os tipos de vegetação originais do município são caracterizados por árvores baixas, de troncos retorcidos e cascas grossas, espalhadas pelo terreno (Mato Grosso do Sul, 1989).

Os solos ocorrentes na região são classificados como Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo roxo, areias Quartzosas e solos Aluviais (Nunes et al., 1986). O solo predominante na área experimental é do tipo areias Quartzosas.

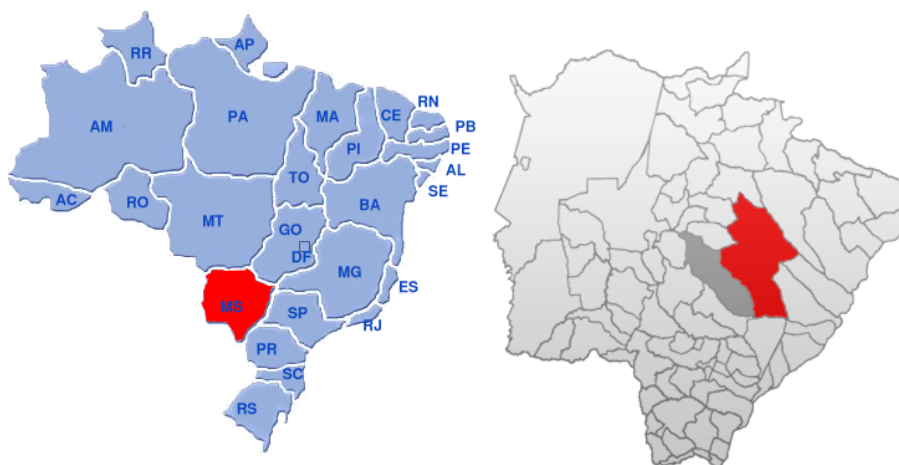


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo no município de Ribas do Rio Pardo-MS

4.2 Caracterização do material

O material utilizado no presente estudo foi coletado em áreas com mesma característica de solo (areias Quartzosas). Consistiu de árvores de um clone de *E. urophylla*, e árvores de um clone do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, com aproximadamente 4,5 anos de idade, implantados em dois modelos silviculturais (convencional 3x3m e silvipastoril 9x2m) conforme mostra a Figura 2. No espaçamento 9x2m introduziu-se o gado a partir do décimo quinto mês. Ao contrário do espaçamento 3x3m que foi utilizado somente para produção madeireira.



Figura 2. Imagem do local da pesquisa; a) Talhão representando as espécies no espaçamento 3x3m; b) Talhão representando as espécies no espaçamento 9x2m

4.3 Amostragem das árvores

Foram coletadas 20 árvores para a realização do trabalho (2 espécies x 2 espaçamentos x 5 árvores). Para seleção das árvores abatidas foi utilizado o modelo de Guia de Cubagem Rigorosa, onde a partir do inventário executado na área, por fórmulas específicas foi gerada uma distribuição diamétrica das árvores em classes de diâmetro dentro do talhão, onde a partir da média ponderada, foi escolhido o diâmetro das árvores a serem abatidas, sendo que o DAP médio foi utilizado como critério para a seleção das árvores para cada espécie e espaçamento. Nas árvores abatidas foram medidas suas alturas totais, comerciais e DAP com casca. Em seguida foi retirado disco de 5 cm de espessura na base, a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, considerando o diâmetro mínimo de 8 cm com casca. A Figura 3 permite melhor visualização do procedimento de coleta do material. Foram retirados discos adicionais nestas mesmas alturas para se obter quantidades suficientes de madeiras para a realização das polpações Kraft.



Figura 3. Coleta do material para pesquisa. a) medição da altura total e comercial; b) cálculo e demarcação dos discos a serem retirados; c) corte dos discos com 5 cm de espessura; d) amostra representativa da árvore

4.4 Determinação dos parâmetros dendrométricos e densidade básica da madeira

Nos discos coletados de cada árvore foram efetuadas as medições dos diâmetros com casca e sem casca. As cascas de cada árvore depois de retiradas foram separadas para avaliação da densidade básica. O volume comercial de cada árvore, com e sem casca foi calculado através da fórmula de Smalian (1937) observado na Equação 1.

$$V_c = \frac{\pi}{8} L [D_B^2 + D_{100}^2 + 2(D_{25}^2 + \dots + D_{75}^2)] \quad (1)$$

Sendo: V_c = volume comercial da árvore com casca ou sem casca, m^3 ; L = comprimento de cada seguimento da árvore, m ; D = diâmetro dos discos com casca ou sem casca a diferentes alturas da árvore, m .

Posteriormente, os discos de madeira foram cortados em quatro cunhas com ângulo de 90° . A primeira cunha foi utilizada para a determinação da densidade básica; a segunda cunha para a avaliação da composição química da madeira; a terceira e quarta cunhas para deslignificação Kraft. A determinação da densidade básica da cunha de madeira e da casca foi efetuada através do método da balança hidrostática Foelkel et al., 1971 (Equação 2).

$$db = \frac{PS}{PU - PI} \quad (2)$$

Sendo: db = densidade básica da amostra de madeira, g/cm^3 , PS = peso seco da amostra de madeira, g , PU = peso úmido da amostra de madeira, g e PI = peso imerso da amostra de madeira, g .

A densidade básica média de cada árvore foi determinada através da densidade básica de cada cunha de madeira e respectivo diâmetro sem casca através da Equação 3.

$$da = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{25}^2)(d_B + d_{25}) + \dots + (D_{75}^2 + D_{100}^2)(d_{75} + d_{100})}{D_B^2 + D_{100}^2 + 2(D_{25}^2 + \dots + D_{75}^2)} \quad (3)$$

Sendo: d_a = densidade básica média da árvore, g/cm^3 ; D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore, cm; d = densidade básica das cunhas nas diferentes alturas da árvore, g/cm^3

A massa comercial da árvore foi determinada através da Equação 4.

$$M_c = d_a \times V_c \quad (4)$$

Sendo: M_c = massa comercial da árvore, kg; d_a = densidade básica média da árvore, kg/m^3 ;
 V_c = volume comercial da árvore sem casca, m^3

A percentagem de casca em volume foi determinada através da Equação 5.

$$\%C_v = \frac{V_{c/c} - V_{s/c}}{V_{c/c}} \times 100 \quad (5)$$

Sendo: $\%C_v$ = percentagem de casca em volume, %; $V_{c/c}$ = volume da árvore com casca, m^3 ;
 $V_{s/c}$ = volume da árvore sem casca, m^3

A Figura 4 mostra os materiais utilizados para determinação da densidade básica (cunha da madeira sem casca e casca da madeira).

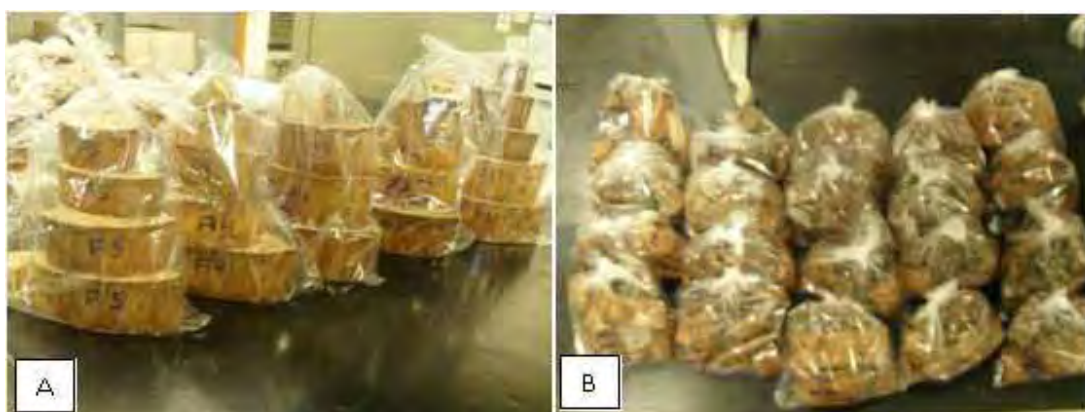


Figura 4. Material utilizado para determinação da densidade básica. a) cunha da madeira sem casca; b) casca da madeira

4.5 Composição química da madeira

A amostra composta de madeira de cada árvore foi realizada através do agrupamento de palitos obtidos manualmente de cunhas retiradas dos discos amostrados nas diferentes alturas. Estes palitos foram reduzidos à serragem em macro-moinho Wiley. Posteriormente, a serragem obtida foi classificada para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram efetuadas as seguintes análises em cada árvore: solubilidade em água quente e água fria (TAPPI T 207 om-93), solubilidade em NaOH 1% (TAPPI T 4 wd-75), teor de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85), de holocelulose (deslignificação com clorito de sódio) e de cinzas (TAPPI T 211 om-93).

4.6 Deslignificação Kraft da madeira e análises na polpa

As deslignificações Kraft foram realizadas em digestor rotativo marca Regmed, com 20 litros de capacidade. Para a polpação foram utilizadas cápsulas com capacidade para 50 g de madeira seca, conforme pode ser verificado na Figura 5. As condições de deslignificação Kraft foram às seguintes: álcali ativo base madeira seca como Na_2O = 16% e 18%, sulfidez do licor = 25%, temperatura máxima = 170 °C, tempo até temperatura máxima = 90 min e tempo na temperatura máxima = 30 min. Após a deslignificação Kraft e lavagem da polpa foram determinados o rendimento bruto (Equação 7), teor de rejeitos base celulose (Equação 8), teor de rejeitos base madeira (Equação 9), rendimento depurado (Equação 10) e consumo específico de madeira (Equação 11). A depuração da celulose para a determinação dos rejeitos foi efetuada em depurador Brecht Roll utilizando peneira com fendas de 0,2 mm. O número Kappa foi efetuado em amostras de polpas depuradas conforme norma TAPPI T 236 om-85.

$$\text{Rb} = \frac{\text{m.s.c.}}{\text{m.s.m.}} \times 100 \quad (7)$$

Sendo: Rb = rendimento bruto, %; m.s.c. = massa seca de celulose, g; m.s.m. = massa seca de madeira, g.

$$\%Rej_{bc} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \times 100 \quad (8)$$

Sendo: $\%Rej_{bc}$ = percentagem de rejeitos base celulose, %; m.s.r. = massa seca de rejeitos, g; m.s.c.= massa seca de celulose, g.

$$\%Rej_{bm} = \frac{m.s.r.}{m.s.c.} \times Rb \quad (9)$$

Sendo: $\%Rej_{bm}$ = percentagem de rejeitos base madeira, %; m.s.r. = massa seca de rejeitos, g; m.s.c.= massa seca de celulose, g; Rb = rendimento bruto, %.

$$Rd = Rb - \%Rej_{bm} \quad (10)$$

Sendo: Rd = rendimento depurado, %; Rb = rendimento bruto, %; $\%Rej_{bm}$ = percentagem de rejeitos base madeira.

$$CEM = \frac{1}{Rd \times db} \quad (11)$$

Onde: CEM = consumo específico de madeira, m³ de madeira/t de celulose seca; Rd = rendimento depurado; db = densidade básica, m³ mad/ ton cel.



Figura 5. Processo de deslignificação Kraft; a) Cápsula utilizadas no armazenamento dos cavacos; b) Digestor rotativo

4.7 Análise estatística

A análise exploratória dos dados, tanto nos obtidos para propriedades da madeira quanto nos obtidos para a qualidade da polpa Kraft, recomendou a adoção de métodos de análises paramétricas (ANOVA), com tratamentos no esquema fatorial levando-se em consideração o sistema silvicultural e o tipo de espécie e a aplicação do teste de Tukey, com nível de significância de 5% para comparações múltiplas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito do sistema de produção silvipastoril nos parâmetros dendrométricos das árvores de *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*

5.1.1 Volume da árvore com casca

A Figura 6 mostra o comportamento dos quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey. Observa-se que estes tratamentos não apresentaram diferenças significativas, apenas uma tendência de crescimento volumétrico em áreas com a presença do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.

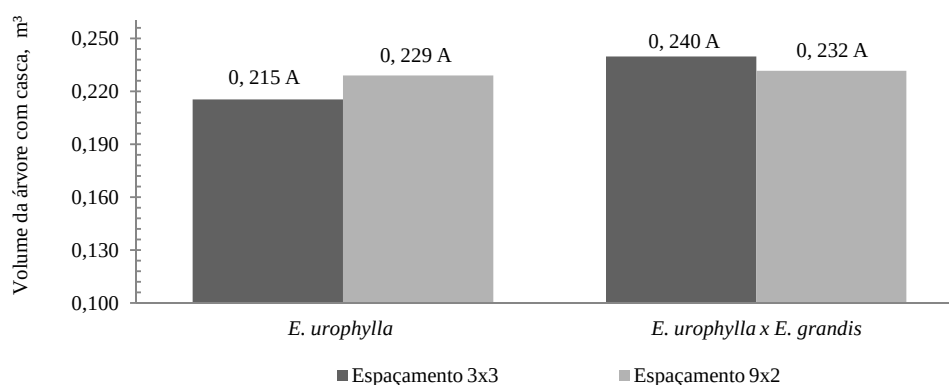


Figura 6. Volume da árvore com casca em função da espécie e espaçamento

Conforme pode ser observado na Tabela 1, a análise de variância geral também não mostrou diferenças significativas para o espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles.

Tabela 1. Análise de variância geral para o volume da árvore com casca, m³

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	0,222	0,98 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,235	
Espaçamento	3x3 m	0,227	0,04 ^{ns}
	9x2 m	0,230	
Interação Espécie x Espaçamento			0,62 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

Pode-se relatar que houve apenas uma tendência das árvores do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* terem um crescimento ligeiramente superior que às árvores de *E. urophylla*, principalmente no espaçamento 3x3m. Esses resultados demonstram estar diretamente ligados ao fato dos híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* possuírem boas características quando a adaptação aos diferentes sítios florestais e maior capacidade produtiva (GOMINHO et al., 2001; MORAIS, 2006; SILVA e XAVIER, 2006). A influência do espaçamento na média geral mostrou uma variação insignificante, que pode estar relacionado a curta idade das florestas não interferindo na competição específica entre elas.

5.1.2 Volume da árvore sem a casca

A Figura 7, referente ao volume da árvore sem a casca, mostra comportamento semelhante ao observado para o volume da árvore com a casca (Figura 6). A análise dos quatro tratamentos através do teste de Tukey apresenta tendência do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, no espaçamento 3x3 m, representar maior volume sem casca (0,215 m³) quando comparado ao *E. urophylla* (0,194 m³). Esta diferença de volume entre as espécies pode estar atribuída às características de melhor adaptabilidade do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* em relação à espécie de *E. urophylla*.

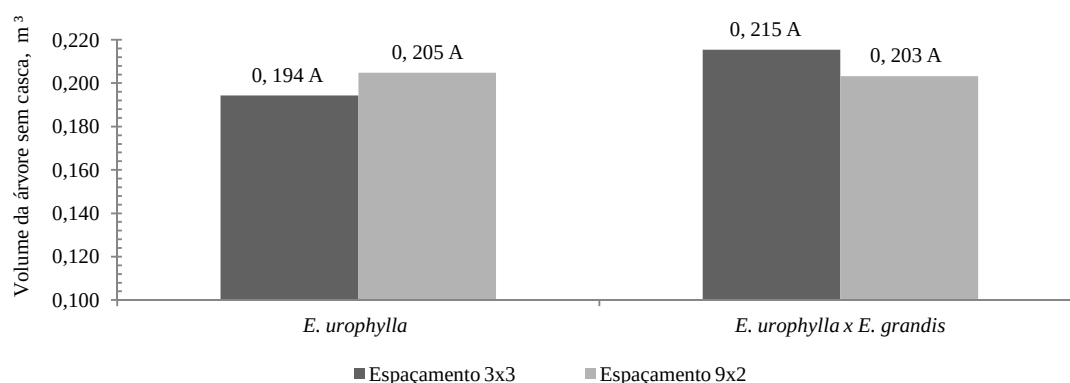


Figura 7. Volume da árvore sem casca em função da espécie e espaçamento

De acordo com a Tabela 2, a análise de variância geral também não apresentou diferença estatística entre as variáveis. Verifica-se nessa tabela que a média geral do volume entre os dois espaçamentos foram semelhantes, podendo ser atribuída à idade das árvores (4,5 anos). Acredita-se que a pouca idade das árvores ainda não influenciou na competição e desenvolvimento das mesmas. Como referência Moraes (2006) e Botelho (1998) encontraram em seus estudos que a produtividade individual aos 7 anos de idade foi superior nos espaçamentos mais amplos, sendo que o crescimento em diâmetro acompanhou a área útil disponível para cada planta. Os resultados encontrados neste estudo em comparação a afirmação desses autores permitem concluir que, em geral, o maior espaçamento pode influenciar no maior desenvolvimento volumétrico apenas a partir de certa idade. Acredita-se que essa competição possa existir a partir dos cinco e seis anos de idade, período onde a floresta minimiza o seu desenvolvimento devido o aumento da competitividade entre as plantas.

Tabela 2. Análise de variância geral para volume da árvore sem casca, m³

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	0,199	0,62 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,209	
Espaçamento	3x3 m	0,204	0,00 ^{ns}
	9x2 m	0,204	
Interação Espécie x Espaçamento			0,85 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.1.3 Massa seca comercial da árvore

A massa seca comercial da árvore foi determinada a partir da multiplicação do volume sem casca da madeira pela sua densidade básica. Observa-se na Figura 8 que a análise dos quatro tratamentos através do teste de Tukey não apresentou efeito significativo. Porém, o espaçamento 3x3m destacou-se com uma ligeira tendência na maior produtividade de massa seca em relação ao espaçamento 9x2m.

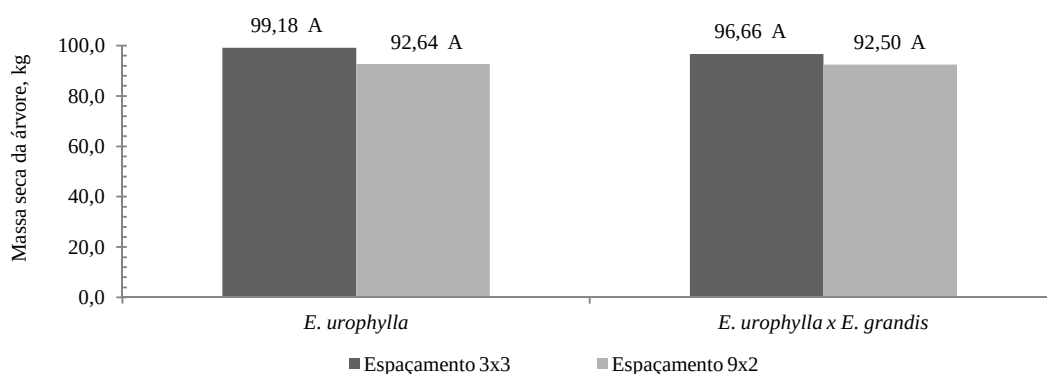


Figura 8. Massa seca comercial da árvore em função da espécie e espaçamento

Para a análise de variância geral, mostrada na Tabela 3, também não foram encontradas diferenças significativas para espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles.

Tabela 3. Análise de variância geral para massa seca comercial das árvores, Kg

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	95,91	0,05 ^{ns}
	<i>E. urophylla x E. grandis</i>	94,50	
Espaçamento	3x3 m	97,92	0,87 ^{ns}
	9x2 m	92,57	
Interação Espécie x Espaçamento			0,04 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

Para a análise das espécies, destaque para o *E. urophylla* que acabou apresentando uma tendência na média de massa seca em relação ao híbrido de *E. urophylla x E. grandis*. Esta tendência pode ser explicada pela Figura 11 onde a espécie de *E. urophylla*

destacou-se com a maior densidade básica, influenciando diretamente nesta tendência de massa seca.

Em relação à influência dos espaçamentos, pode-se observar que o menor espaçamento apresentou uma tendência de maior valor de massa seca nas médias gerais. Estes valores estão em conformidade com o trabalho de Goulart et al. (2003) que estudou *E. grandis* em 12 tipos de espaçamento e verificou que a quantidade de massa seca de madeira por hectare diminuiu com o aumento do espaço vital.

Desta forma tem-se, conseqüentemente, maior volume de massa seca de madeira por hectare com a diminuição do espaçamento.

5.1.4 Porcentagem de casca em volume da árvore

A porcentagem de casca é de grande importância para se conhecer o comportamento das árvores, e tem grande influência no transporte da madeira com casca até a indústria. Oliveira et al. (1999) afirma que a porcentagem de casca é, também, importante do ponto de vista florestal e industrial sendo que cada espécie revela, no seu aspecto externo, variações de forma e textura.

Observa-se na Figura 9 que os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey apresentaram diferenças significativas. A maior porcentagem de casca em volume foi evidenciada no híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* no espaçamento 9x2m (12,34%) e a menor porcentagem para o *E. urophylla* no espaçamento 3x3m (9,76%). Na comparação entre médias das espécies x espaçamento, verifica-se para *E. urophylla* um crescimento não significativo de aproximadamente 9% no teor de casca do menor para o maior espaçamento. Quanto ao híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, este crescimento é significativo na faixa 15,8 %, também do menor para o maior espaçamento. Acredita-se que este aumento proporcional do teor de casca com o maior espaçamento principalmente para o híbrido possa estar relacionado com a maior disponibilidade de luz que influenciou em um maior desenvolvimento do tecido peridérmico das plantas.

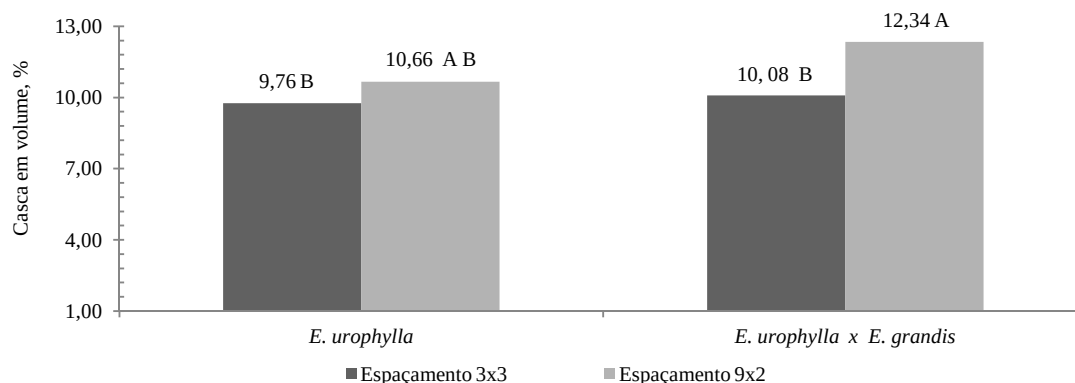


Figura 9. Porcentagem de casca em volume na árvore em função da espécie e espaçamento

A Tabela 4 apresenta os valores da análise de variância geral com diferenças significativas no nível de 1 % apenas para a fonte de variação espaçamento. A média geral do teor de casca em volume para o maior espaçamento foi de 11,49%, valor significativamente superior a 9,92% no espaçamento 3x3m. A explicação para este fato se baseia na mesma idéia exposta na Figura 9. Para o comportamento apenas das espécies verifica-se uma tendência de maior percentagem de casca para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, o qual pode estar relacionado as características morfológicas de crescimentos entre as espécies.

Tabela 4. Análise de variância geral para porcentagem de casca em volume, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	10,21	4,32 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	11,21	
Espaçamento	3x3 m	9,92	10,70 ^{**}
	9x2 m	11,49	
Interação Espécie x Espaçamento			1,99 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.1.5 Densidade básica média da casca

A Figura 10 mostra o comportamento dos quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey. Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos, apenas uma ligeira tendência da espécie de *E. urophylla* apresentar maior densidade básica da casca em relação ao híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*. O menor valor

médio de densidade básica da casca ficou representado pelo híbrido com 0,223 g/cm³. Valor abaixo do encontrado por Foelkel (2005), que relata densidade básica da casca de espécies comerciais de eucaliptos variando entre 0,240 a 0,350 g/cm³. É importante ressaltar que a baixa densidade básica da casca principalmente a do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* foi proporcionalmente relacionada com o maior volume de madeira. Demonstrando que o maior crescimento volumétrico afetou para uma menor densidade básica da casca das madeiras. Para o *E. urophylla* esses valores não foram nitidamente observados.

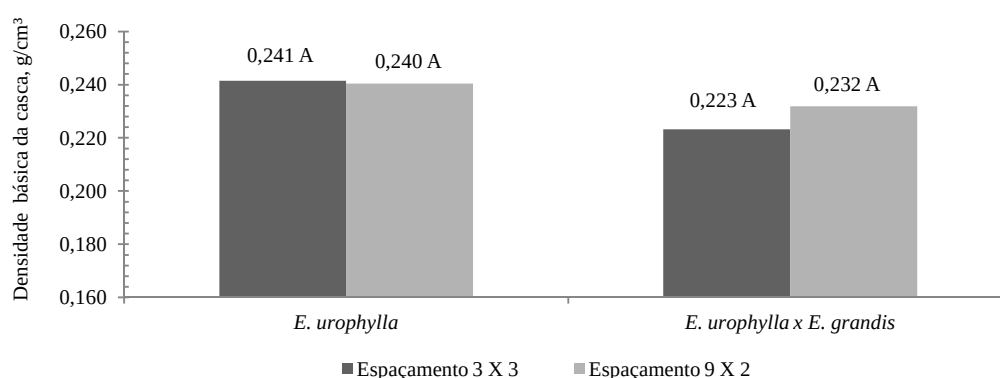


Figura 10. Densidade básica das cascas em função da espécie e espaçamento

Para a análise de variância geral, representado pela Tabela 5, também não foi observada diferença significativa para espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles. Nota-se apenas uma pequena elevação da densidade básica da casca no maior espaçamento (0,236 g/cm³) em relação ao menor (0,232 g/cm³).

Tabela 5. Análise de variância geral para densidade básica média da casca, g/cm³

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	0,240	2,19 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,227	
Espaçamento	3x3 m	0,232	0,17 ^{ns}
	9x2 m	0,236	
Interação Espécie x Espaçamento			0,28 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2 Efeito do sistema de produção silvipastoril nas propriedades físicas e químicas da madeira de *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*

5.2.1 Densidade básica média da árvore

A densidade básica tem-se destacado como um bom índice universal de avaliar a qualidade da madeira, sendo um fator de fundamental importância no processo de polpação em relação aos aspectos econômicos relacionados ao consumo específico de madeira, influência nas variáveis do processo de polpação e características da polpa celulósica (FOELKEL et al., 1990; QUEIROZ et al., 2004).

A Figura 11 apresenta o comportamento dos quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey. Observa-se diferença significativa na densidade básica média da árvore de *E. urophylla* no espaçamento 3x3m (0,509 g/cm³), em relação ao 9x2m (0,448 g/cm³), enquanto que no híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* este efeito não foi pronunciado. Analisando este comportamento verifica-se que o maior espaçamento influenciou na densidade básica do *E. urophylla*, o mesmo, não ocorrendo no híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*.

Acredita-se que está diferença na densidade básica possa estar relacionada com o crescimento volumétrico das espécies. Numa comparação entre as Figuras 7 e 11 (volume de madeira x densidade básica) pode-se observar um valor proporcional do maior volume de madeira apresentar as menores densidades e vice versa. Oliveira (1988) e Trugilho et al. (1996) relatam que madeiras de maior densidade básica estão relacionadas com o aumento da espessura da parede celular, redução do lume e aumento do comprimento das fibras.

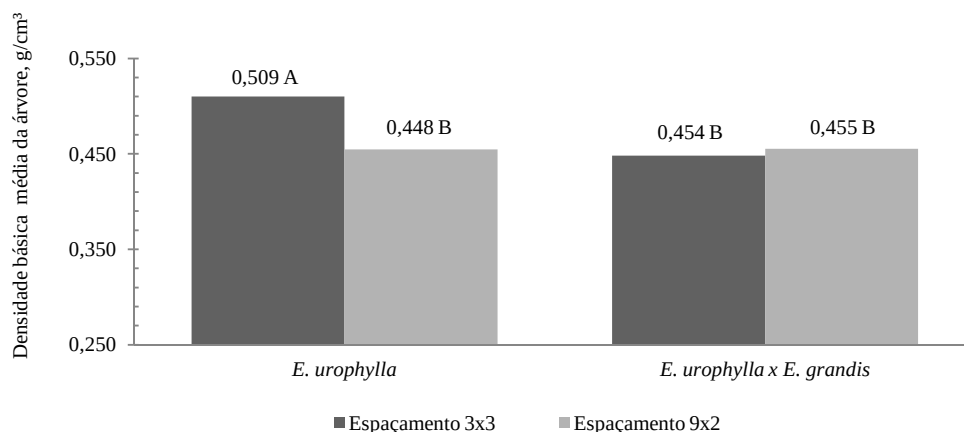


Figura 11. Comportamento da densidade básica média da árvore em função da espécie e espaçamento

A análise de variância geral representada na Tabela 6 também mostrou diferenças significativas para espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles. Devido à interação significativa, as médias gerais para espaçamento e tipo de madeira devem ser analisadas com ressalvas, haja vista o comportamento diferenciado do tipo de madeira em função do espaçamento. A média geral de densidade básica média da árvore no espaçamento 3x3m ($0,479 \text{ g/cm}^3$) foi superior quando comparada ao espaçamento 9x2m ($0,454 \text{ g/cm}^3$). Portanto, houve uma tendência da densidade básica média da árvore decrescer no espaçamento mais amplo. Este resultado pode ser explicado levando em consideração o que foi discutido na Figura 11. Para a média geral de densidade básica apenas das espécies, a madeira de *E. urophylla* ($0,482 \text{ g/cm}^3$) foi superior e significativa a 1% quando comparada ao híbrido de *E. urophylla x E. grandis* ($0,452 \text{ g/cm}^3$). Estes resultados demonstram nitidamente o objetivo do cruzamento entre *E. urophylla x E. grandis* que foi a busca de um aumento de volume de madeira observados na (Tabela 1 e Tabela 2) relacionados a uma diminuição da densidade básica média (Tabela 6), que pode ser explicado pela presença do *E. grandis* neste material, espécie caracterizada por apresentar densidade básica, geralmente, inferior a do *E. urophylla* (em torno de $0,420 \text{ g/cm}^3$), conforme MILAGRES (2009).

Tabela 6. Análise de variância geral para densidade básica média das árvores, g/cm³

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	0,482	10,08 **
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,452	
Espaçamento	3x3 m	0,479	6,38 *
	9x2 m	0,454	
Interação Espécie x Espaçamento			10,64 **

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

Goulart et al. (2003) estudaram o comportamento da densidade básica de *Eucalyptus grandis* W Hill ex- Maiden em função de 12 espaçamentos de plantio onde foram destacados os espaçamentos 2,0 x 1,5 m e 4,0 x 3,0 m com densidades básicas de 0,470 e 0,380 g/cm³, respectivamente, demonstrando também uma redução da densidade básica com o aumento do espaço vital entre plantas. Porém, Vital et al. (1981) estudando o efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira em árvores de *E. grandis*, com 2,5 anos de idade, afirmam que não houve efeito significativo do espaçamento na densidade básica média das árvores.

5.2.2 Solubilidade da madeira em água fria

De acordo com a norma TAPPI T 12 wd-82 a solubilidade em água fria tem como principal característica efetuar a análise dos componentes da madeira tais como os taninos, resinas, açúcares e materiais coloridos presentes no lenho.

A Figura 12 mostra que a análise dos quatro tratamentos através do teste de Tukey não apresentou diferenças significativas. Porém, deve-se ressaltar que ambas as espécies mostraram comportamentos distintos no teor de solubilidade em água fria, a começar pelo *E. urophylla* que apresentou um aumento de aproximadamente 9% do menor para o maior espaçamento. Resultado aposto do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* que ocasionou em uma redução de aproximadamente 5,5 % também do menor para o maior espaçamento. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de estarmos analisando duas espécies diferentes que podem apresentar em sua formação anatômica características dos compostos acidentais de forma diferenciadas.

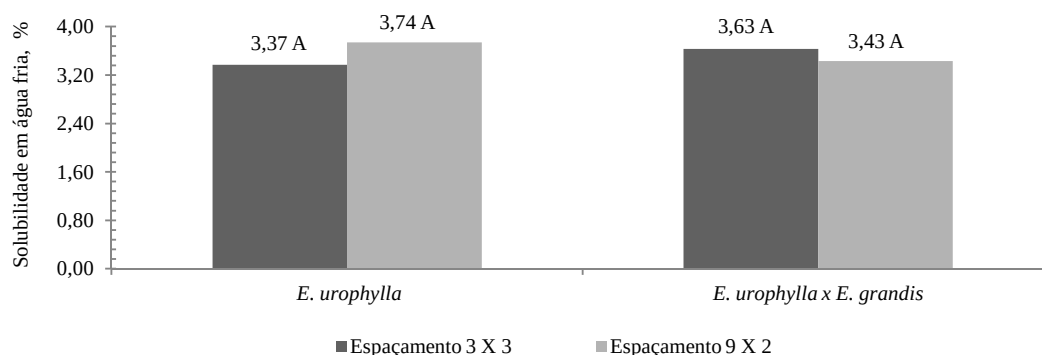


Figura 12. Solubilidade da madeira em água fria em função da espécie e espaçamento

Para a análise de variância geral, a Tabela 7 apresenta os valores para espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles. Observa-se que também não houve diferenças estatísticas e que as médias gerais tanto para espaçamento e tipo de madeira foram bem próximas.

Tabela 7. Análise de variância geral para teor de solubilidade da madeira em água fria, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	3,55	0,00 ^{ns}
	<i>E. urophylla x E. grandis</i>	3,53	
Espaçamento	3x3 m	3,50	0,06 ^{ns}
	9x2 m	3,58	
Interação Espécie x Espaçamento			0,72 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2.3 Solubilidade da madeira em água quente

A norma TAPPI T 12 wd-82 ressalta que a solubilidade da madeira em água quente é capaz de solubilizar e remover componentes estranhos (extrativos), taninos, resina, açúcares, materiais coloridos mais o amido.

A Figura 13, relativa à solubilidade da madeira em água quente, mostra que os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey não apresentaram diferenças significativas. Contudo ressalvas para o híbrido de *E. urophylla x E. grandis* que apresentaram tendência de maior solubilidade em água quente em comparação ao *E. urophylla*.

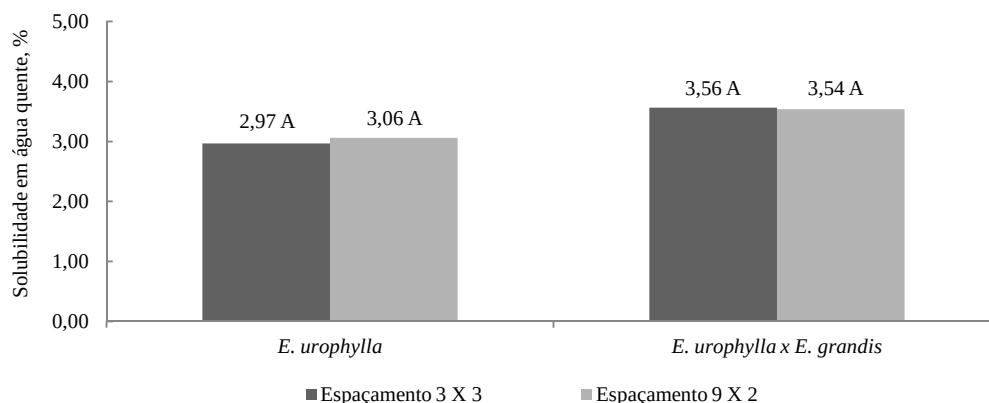


Figura 13. Solubilidade da madeira em água quente em função da espécie e espaçamento

Para a análise de variância geral (Tabela 8), observa-se uma diferença significativa no nível de 5 % para a influência apenas das espécies e uma diferença não significativa em relação ao espaçamento e interação espécie x espaçamento. A média geral do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (3,55%) foi significativamente superior quando comparada com o *E. urophylla* (3,01%).

Tabela 8. Análise de variância geral para teor de solubilidade da madeira em água quente, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	3,01	6,85 *
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3,55	
Espaçamento	3x3 m	3,26	0,02 ^{ns}
	9x2 m	3,29	
Interação Espécie x Espaçamento			0,07 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2.4 Solubilidade da madeira em NaOH 1%

A norma TAPPI T 4 wd-75 relata que a solubilidade alcalina é responsável pela remoção de carboidratos de baixa massa molecular da madeira. Na Figura 14, os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey mostraram diferenças significativas. Ressalvas para o *E. urophylla* que apresentou uma variação significativa de aproximadamente 17,6% do menor para o maior espaçamento, demonstrando assim que para esta espécie o maior espaço entre árvores aumentou a sua solubilidade da madeira. Para o

híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* não foram observados diferenças estatísticas, apenas uma tendência do maior espaçamento também apresentar maior solubilidade da madeira. Como a maior solubilidade em NaOH indica uma maior facilidade de remoção das hemiceluloses em soluções alcalinas, conclui-se para este estudo que espaçamentos mais amplos proporcionará maior solubilidade da madeira, interferindo no processo de produção de celulose e papel. Foelkel et al., 1980 e Ferreira et al., 1997 relatam que a máxima preservação das hemiceluloses é essencial para aumentar o rendimento do processo.

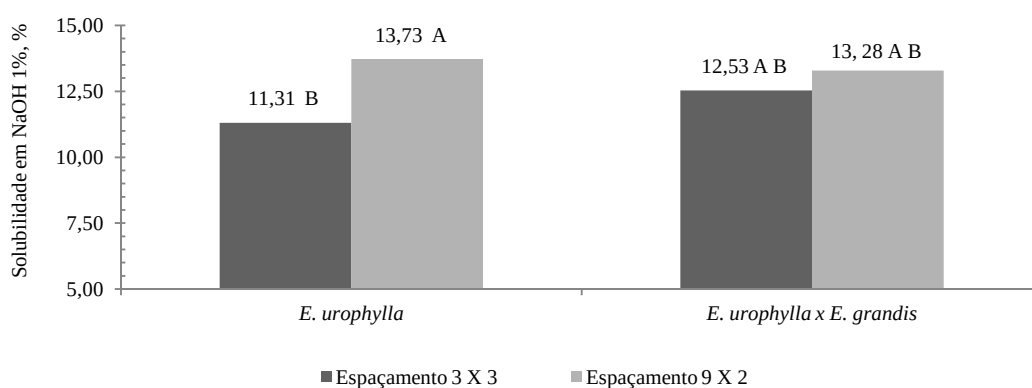


Figura 14. Valores da solubilidade da madeira em NaOH 1%

Para a análise de variância geral (Tabela 9), observa-se efeito significativo no nível de 1% para espaçamento. No menor espaçamento obteve-se a média geral de 11,92% e no maior espaçamento 13,50%. O efeito do espaçamento na solubilidade da madeira em NaOH 1% foi mais pronunciado para o *E. urophylla* quando comparado com o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*. As médias gerais para tipo de madeira não diferiram significativamente.

Rocha (2011), Marron e Neves (2000) encontraram resultados compatíveis na madeira de *E. grandis* com 7 e 6 anos entre 9,66 % e 12,58 %.

Como visto, as maiores solubilidades em NaOH 1% foram encontradas nos maiores espaçamentos (9x2 m). Contudo, um estudo elaborado por Ferreira et al. (1997) comparando o comportamento de *E. dunnii* em diferentes espaçamentos, encontrou valores na ordem de 7,45 % a 6,18 % e concluiu que a solubilidade decresceu com o aumento do espaçamento, porém neste estudo as médias não diferiram estatisticamente.

Tabela 9. Análise de variância geral para teor de solubilidade em NaOH 1 %, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	12,52	0,62 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	12,91	
Espaçamento	3x3 m	11,92	10,36 **
	9x2 m	13,50	
Interação Espécie x Espaçamento			2,86 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2.5 Extrativos totais da madeira

Segundo norma TAPPI T 12 wd-82 a determinação dos extrativos totais da madeira utiliza extrações sequenciais da madeira em álcool-tolueno (1/2), álcool 96% e água quente.

O teor de extrativos totais mostrado na Figura 15 apresenta os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey, nota-se nestas análises que as médias não diferem estatisticamente. Porém pode-se destacar uma maior tendência do aumento da porcentagem de extrativos totais com o aumento do espaçamento entre plantas. Sendo que tanto o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* quanto o *E. urophylla* apresentaram valores aproximados entre 5,6 a 6,9 % de aumento percentual do teor de extrativos com a ampliação do espaçamento. Como na produção de celulose por meio de processos químicos, os extrativos são compostos indesejáveis, que causam prejuízos por dificultarem a impregnação dos cavacos além de reduzir o rendimento e prejudicar a qualidade da polpa (FERREIRA et al. 2006; WEHR e BARRICHELO, 1992), este estudo apresenta que o maior espaçamento poderá influenciar na maior porcentagem de extrativos totais não sendo de interesse para a indústria de celulose.

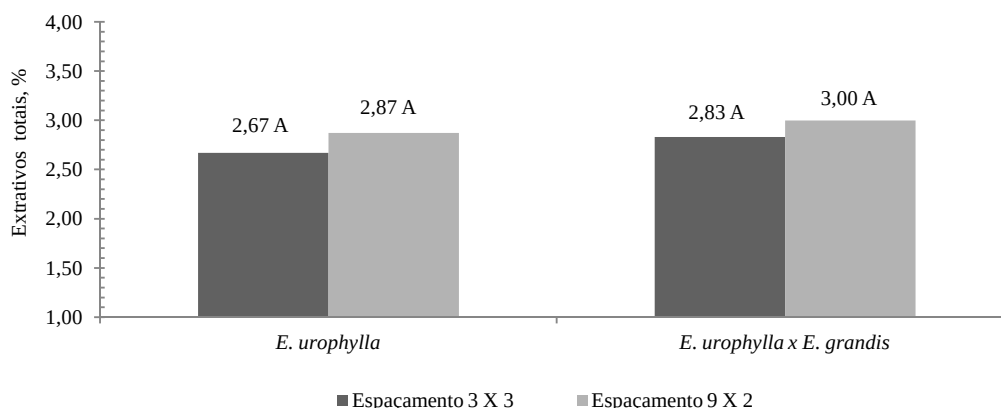


Figura 15. Extrativos totais da madeira em função da espécie e espaçamento

Para a análise de variância geral (Tabela 10), observa-se que não houve uma diferença significativa para espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles. Apenas apresenta indicações que o teor de extrativos totais aumentou ligeiramente com a elevação do espaçamento, e que a madeira do híbrido *E. urophylla x E. grandis* apresentou um teor ligeiramente mais elevado que a madeira do *E. urophylla*.

Como forma de comparação, estudo realizado por Santos e Sansígolo (2007), estudando híbridos de *E. urophylla x E. grandis* com seis anos de idade encontraram valores médios na faixa de 3,29% um pouco acima dos encontrados neste estudo que pode estar relacionado com a diferença de idade entre as espécies.

Tabela 10. Análise de variância geral para teor de extrativos totais da madeira, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	2,77	0,26 ^{ns}
	<i>E. urophylla x E. grandis</i>	2,91	
Espaçamento	3x3 m	2,75	0,43 ^{ns}
	9x2 m	2,93	
Interação Espécie x Espaçamento			0,00 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2.6 Teor de lignina da madeira

Para determinação do teor de lignina da madeira utilizou se o método TAPPI T 249 cm-85 que determina o teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico.

A Figura 16 mostra os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey, onde não apresentaram diferenças estatísticas. Contudo pode-se ressaltar que ambas as espécies estudadas, possuem uma tendência de maior teor de lignina com o aumento do espaçamento. Sendo que para o *E. urophylla* este aumento foi de aproximadamente 2,3 % e no híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* de 2,5 % do menor (3x3m) para o maior (9x2m) espaçamento. Os acréscimos nos teores de lignina para ambas as espécies com o aumento do espaçamento estão de acordo com os resultados encontrados por Garlett (1995) que estudou a influência de cinco espaçamentos na qualidade da madeira, e encontrou maiores teores de lignina para os espaçamentos mais amplos. Numa comparação da média geral entre densidade básica e teor de lignina (Tabela 6 e 11), verifica-se que as madeiras que apresentaram maior densidade básica ocasionaram num menor teor de lignina. Resultado oposto do encontrado por Oliveira (1988) que relacionam o aumento da lignina com o aumento da densidade. Como neste estudo não foi observada diferença significativa, os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente principalmente pela idade precoce do povoamento.

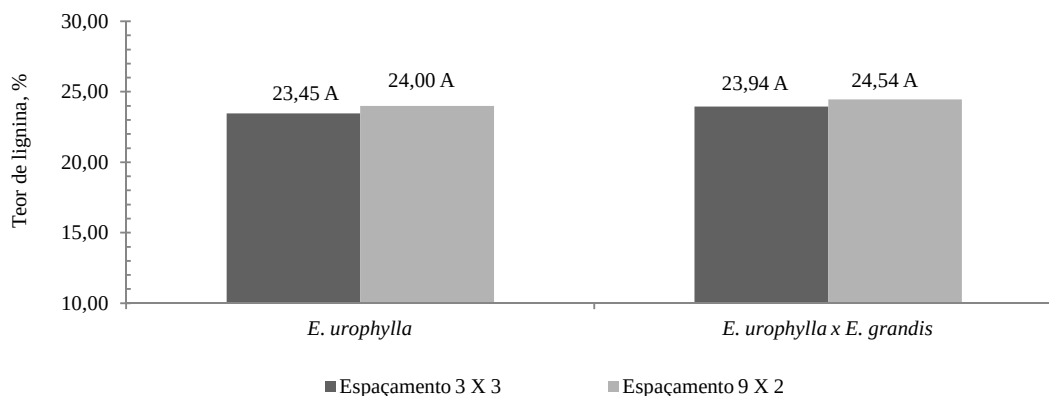


Figura 16. Teor de lignina da madeira em função da espécie e espaçamento

A Tabela 11 apresenta os valores da análise de variância geral para espaçamento, tipo de madeira e interação espécie x espaçamento. Observa-se que nesta análise também não houve diferenças estatísticas, entretanto, os resultados mostram novamente indicações de uma ligeira elevação do teor de lignina com a elevação do espaçamento, conforme foi explicado na Figura 16, e que a madeira do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou teor ligeiramente mais elevado que a madeira do *E. urophylla*. Como o híbrido é

uma madeira oriunda de uma empresa produtora de carvão vegetal pode-se relacionar esta tendência do teor de lignina com suas características genéticas na formação deste clone.

Tabela 11. Análise de variância geral para teor de lignina na madeira, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	23,7	3,05 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	24,2	
Espaçamento	3x3 m	23,7	3,82 ^{ns}
	9x2 m	24,2	
Interação Espécie x Espaçamento			0,00 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

Como na produção de celulose por meio de processos químicos, a lignina é considerada um constituinte prejudicial. Altos teores nas madeiras demandam mais álcali ativo no processo de impregnação dos cavacos durante as operações de cozimentos e branqueamento, prejudicando a operação (CARDOSO et al., 2002; TRUGILHO et al., 2005; GOMIDE et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; SANTOS e SANSÍGOLO, 2007). Como pode ser observado nesta análise, não houve uma ampla diferença entre os tratamentos, apenas tendências nos teores percentuais citados acima, demonstrando desta forma que existe para este estudo uma viabilidade da utilização destas madeiras na indústria.

5.2.7 Teor de holocelulose

O termo holocelulose é geralmente usado para designar os polissacarídeos totais presentes na madeira. Englobam os valores da celulose e dos demais polissacarídeos, notadamente as pentosanas, denominadas em conjunto como hemiceluloses (TAHERZADEH e KARIMI, 2007).

De acordo com a Figura 17, os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey apresentam diferenças estatísticas. O efeito do espaçamento no teor de holocelulose foi altamente significativo principalmente para *E. urophylla* que apresentou uma diminuição de aproximadamente 5,1% no teor de holocelulose do menor para o maior espaçamento. Para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* esta diminuição foi menos representativa, porém manteve a significância com um valor aproximadamente de 4,4%

também do menor para o maior espaçamento. A densidade básica está intimamente relacionada com a composição química da madeira. Observa-se, principalmente, para a madeira de *E. urophylla* que a densidade básica apresentou correlação positiva com o teor de holocelulose e negativa com o teor de lignina (Figuras 11, 16 e 17).

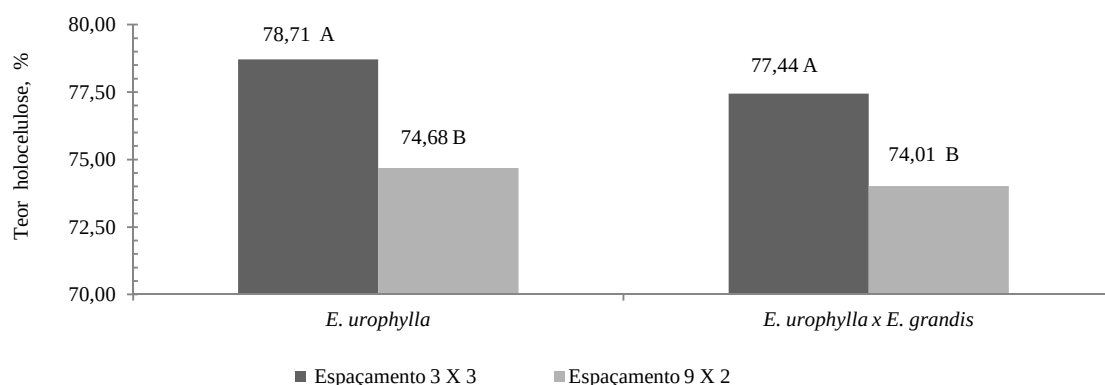


Figura 17. Teor de holocelulose da madeira em função da espécie e espaçamento

Já a Tabela 12, apresenta a análise de médias gerais de teor de holocelulose diferindo estatisticamente apenas para a influência do espaçamento. Na comparação apenas do tipo de espécie pode-se observar que não houve esta diferença estatística, apenas uma tendência do *E. urophylla* (76,69%) apresentar maior valor do teor de holocelulose em relação ao híbrido de *E. urophylla x E. grandis* (75,53%). Porém, quando comparado o comportamento apenas do espaçamento na influência do teor de holocelulose pode-se observar que esta diferença foi altamente significativa no nível de 1 % onde, o menor espaçamento obteve-se a média geral de 78,08% e no maior espaçamento 74,35%.

Outros valores para comparação foram observados por Trugilho (2005), que estudou híbridos de *E. grandis* com *E. urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, e encontrou valores entre 74,22% a 82,04%; Sansígolo e Curvelo (1994), trabalhando com *Eucalyptus globulus*, constatarem média de (77,8%). Bassa et al. (2007) analisando o híbrido *E. urophylla x E. grandis* com sete anos de idade, encontraram valores de 68,9% e Santos e Sansígolo (2007) estudando o híbrido de *E. urophylla x grandis* com seis anos reportam valores de 67,12%. Os valores de holocelulose destes dois últimos estudos são inferiores em relação ao presente trabalho devido à forma de cálculo diferente. Nestes estudos, o teor de holocelulose foi calculado por diferença (holocelulose = 100 – extrativos totais –

lignina total). Andrade et al. (2010) determinaram teor de 72,5% em madeira de *E. grandis* com oito anos. Silva et al. (2005) encontraram teor médio de holocelulose em *E. grandis* com 10 anos na ordem de 70,61%.

Tabela 12. Análise de variância geral para teor de holocelulose na madeira, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	76,69	2,36 ^{ns}
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	75,73	
Espaçamento	3x3 m	78,08	35,08 ^{**}
	9x2 m	74,35	
Interação Espécie x Espaçamento			0,22 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.2.8 Teor de cinzas nas madeiras

O teor de cinzas indica a quantidade de minerais presentes na madeira em suas diferentes formas, nas árvores, à quantidade destes elementos varia com a espécie, a disponibilidade no solo, a necessidade individual e a época do ano (FREDDO, 1997).

Observa-se na Figura 18 que os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey mostraram diferenças significativas. O comportamento de ambas as espécies foram bem próximos e significativos para o espaçamento mais amplo (9x2m). O teor de cinzas mais elevado no espaçamento mais amplo pode estar relacionado com o maior espaço vital que favoreceu condições de crescimento diferenciadas que afetaram de maneira às propriedades químicas (TRUGILHO et al. 1996).

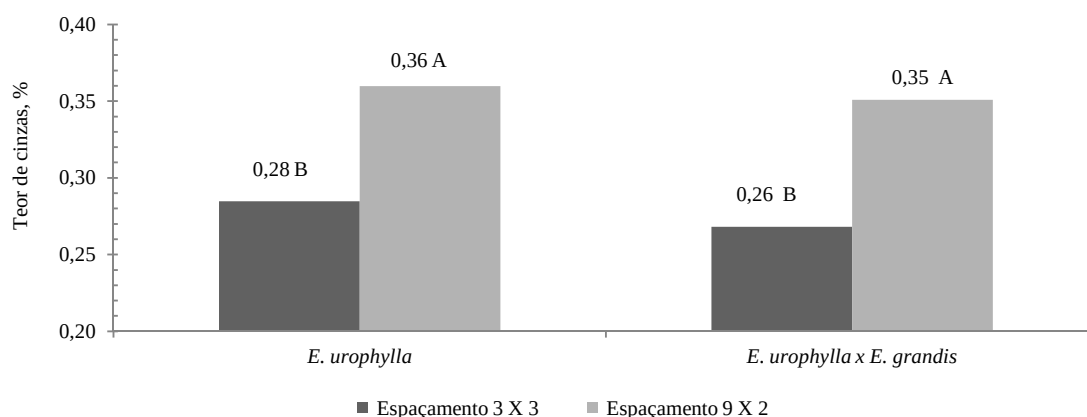


Figura 18. Teor de cinzas da madeira em função da espécie e espaçamento

De acordo com a Tabela 13, as médias gerais para teor de cinzas foram não significativos para a influência da espécie e interação espécie x espaçamento, e altamente significativo no nível de 1 % para o espaçamento.

Esta alta significância foi detectada com um acréscimo de aproximadamente 23 % do teor de cinzas do menor para o maior espaço. Esta influência do maior espaço gerar maior teor de cinzas na madeira pode estar relacionada à maior disponibilidade de nutrientes no solo, devido a menor competição entre as plantas no espaçamento mais amplo. Barcellos et al. (2005) comentam que quanto maior a disponibilidade de nutrientes minerais no solo, maior a disponibilidade destes estarem presentes em maiores quantidades na madeira.

Tabela 13. Análise de variância geral para teor de cinzas nas madeiras, %

Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Espécie	<i>E. urophylla</i>	0,32	0,84 ^{ns}
	<i>E. urophylla x E. grandis</i>	0,30	
Espaçamento	3x3 m	0,27	32,25 **
	9x2 m	0,35	
Interação Espécie x Espaçamento			0,07 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

Para a indústria de celulose são desejáveis madeiras com baixos teores de minerais, porque estes podem se constituir em contaminantes e, quando se acumulam no processo, são causadores de problemas como corrosão, erosão e entupimentos, levando a

redução da vida útil dos materiais e perdas de produção, principalmente em fábricas com ciclo de água mais fechado (CARDOSO et al. 2001).

5.3 Efeito do sistema de produção silvipastoril na polpação Kraft de *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*

5.3.1 Rendimento bruto de celulose

O rendimento bruto de celulose foi determinado em duas cargas de álcali ativo (16 % e 18 %). As Figuras 19 e 20 mostram as diferenças significativas através do teste de Tukey.

Pode ser observado na Figura 19 para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* rendimentos brutos semelhante para ambos os espaçamentos (51,39% e 51,26%). Para a madeira de *E. urophylla* pode-se observar uma diferença altamente significativa de aproximadamente 10% no comportamento das madeiras do menor espaçamento (54,00%) para o maior (48,67%).

Os rendimentos brutos para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* foram semelhantes devidos à densidade básica e composição química da madeiras bem próximas em função do espaçamento. A madeira deste híbrido apresentou as seguintes propriedades: densidade básica da madeira ($0,454 \text{ g/cm}^3$ em 3x3m e $0,455 \text{ g/cm}^3$ em 9x2m), solubilidade em NaOH 1% (12,5% em 3x3m e 13,3% em 9x2m), teor de lignina (23,9% em 3x3m e 24,5 em 9x2m) e teor de holocelulose (77,4% em 3x3m e 74,0% em 9x2m).

As grandes diferenças estatísticas para os rendimentos brutos para a madeira de *E. urophylla* podem ser atribuídas as marcantes diferenças na qualidade da madeira em função do espaçamento. A madeira desta espécie apresentou as seguintes características: densidade básica da madeira ($0,509 \text{ g/cm}^3$ em 3x3m e $0,448 \text{ g/cm}^3$ em 9x2m), solubilidade em NaOH 1% (11,3% em 3x3m e 13,7% em 9x2m), teor de lignina (23,5% em 3x3m e 24,0 em 9x2m) e teor de holocelulose (78,7% em 3x3m e 74,7% em 9x2m).

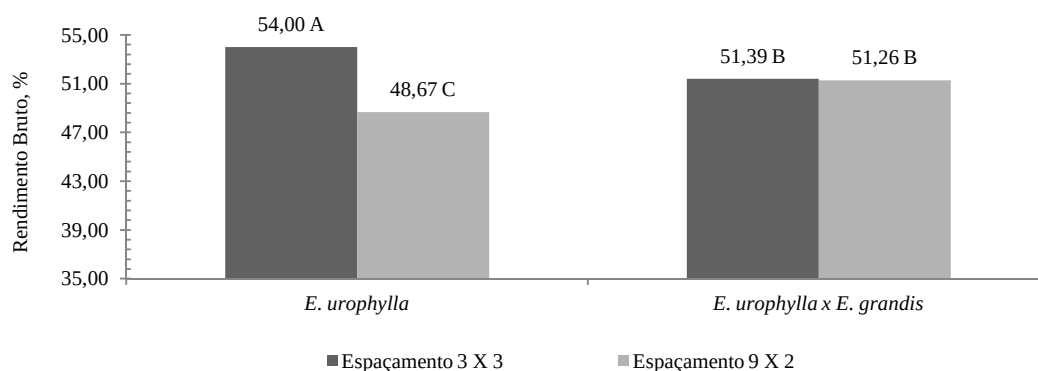


Figura 19. Rendimento bruto de celulose com álcali ativo de 16% em função da espécie e espaçamento

A Figura 20 mostra que a elevação da carga de álcali ativo de 16% para 18% resultou em diminuição do rendimento bruto para os quatro tratamentos. Em comparação a Figura 19, destaque novamente para o híbrido de *E. urophylla x E. grandis* que não apresentou diferenças estatísticas de rendimento bruto em função do espaçamento. Já em relação ao *E. urophylla*, observa-se elevada diferença estatística de aproximadamente 11,3 % do menor (50,92%) para o maior (45,18%) espaçamento. Novamente, estes resultados podem ser explicados quando da análise da qualidade das madeiras utilizadas.

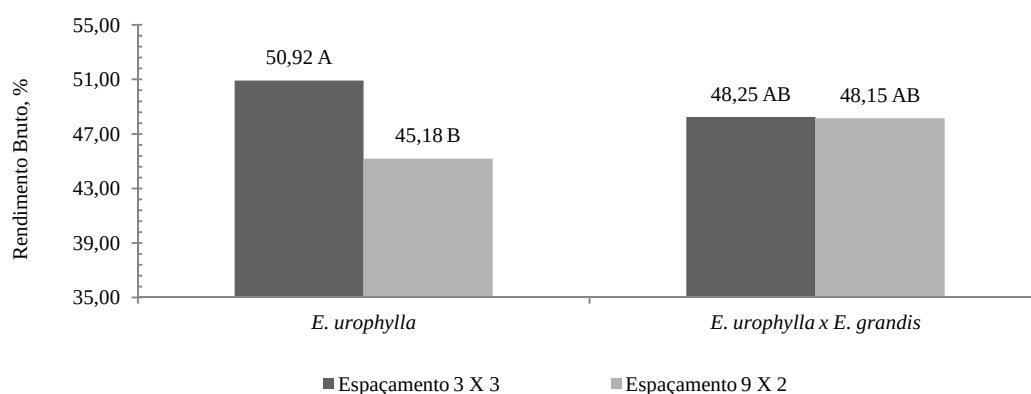


Figura 20. Rendimento bruto de celulose com álcali ativo de 18% em função da espécie e espaçamento

A Tabela 14, relativa às médias gerais, mostra diferenças significativas para rendimento bruto nos dois níveis de álcali ativo para espaçamento e interação

espaçamento x tipo de madeira. Deve-se destacar que esta influência foi mais relacionada com o *E. urophylla*, que teve maior discrepância nos valores de rendimento bruto em função do espaçamento, que propriamente para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*.

Queiroz et al. (2004) comentam que a influência no rendimento bruto para as espécies de eucaliptos pode estar relacionado diretamente a densidade básica e propriedades químicas da madeira, representando desta forma a mesma relação do que foi encontrado neste estudo. A comparação entre espécie e espaçamento mostrou maior rendimento bruto para a madeira de *E. urophylla* no espaçamento 3x3m e destaque para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* que teve comportamento bem semelhante para rendimento bruto em ambos os espaçamentos.

Tabela 14. Análise de variância geral nos dois níveis de álcali ativo para rendimento bruto de celulose, %

	Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Álcali ativo 16 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	51,33	0,99 ^{ns}
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	51,32	
	Espaçamento	3x3 m	52,69	0,00 **
		9x2 m	49,96	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,00 **
Álcali ativo 18 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	47,73	0,88 ^{ns}
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	48,19	
	Espaçamento	3x3 m	49,43	0,01 **
		9x2 m	46,66	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,01 *

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.3.2 Rendimento depurado de celulose

O rendimento depurado da celulose com álcali ativo de 16 % (Figura 21) para os quatro tratamentos analisados, através do teste de Tukey, não mostraram diferenças significativas. Entretanto, os resultados mostram que ainda persiste uma tendência do *E. urophylla* apresentar 6,4% de maior rendimento depurado no menor espaçamento. Em relação ao híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, observa-se à tendência de rendimentos depurados próximos em função do espaçamento.

Para o rendimento depurado utilizando álcali ativo de 18% (Figura 22) foi observada diferenças significativas para os quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey. O aumento da carga de álcali foi representado de forma significativa entre os espaçamentos para *E. urophylla* e não significativa para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*. Numa comparação entre as Figuras 21 e 22 fica nítido o comportamento diferenciado, principalmente, entre as espécies. A mudança da carga de álcali ativo basicamente não afetou as tendências do rendimento depurado para os tratamentos, apenas afirmou a hipótese de que o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* se sobressaiu como uma madeira com pouca variação no processo de cozimento nos dois espaçamentos.

Contudo, pode-se concluir que as espécies com maiores valores de rendimento depurado foram as que apresentaram o maior valor de densidade básica, resultados de acordo com os encontrados por (BARRICHELO e FOELKEL, 1976; QUEIROZ et al., 2004; TRUGILHO et al., 2005; SANTOS e SANSÍGOLO, 2007; GOUVÊA et al., 2009)

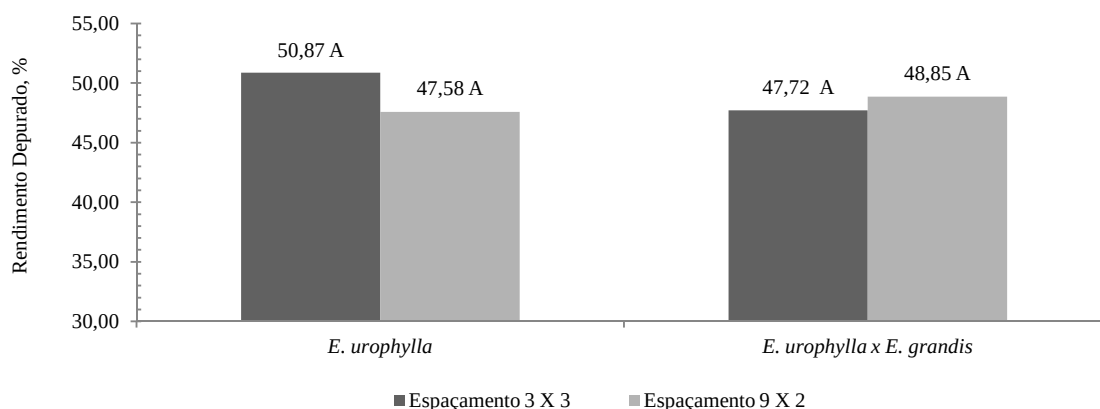


Figura 21. Rendimento depurado de celulose com álcali ativo de 16% em função da espécie e espaçamento

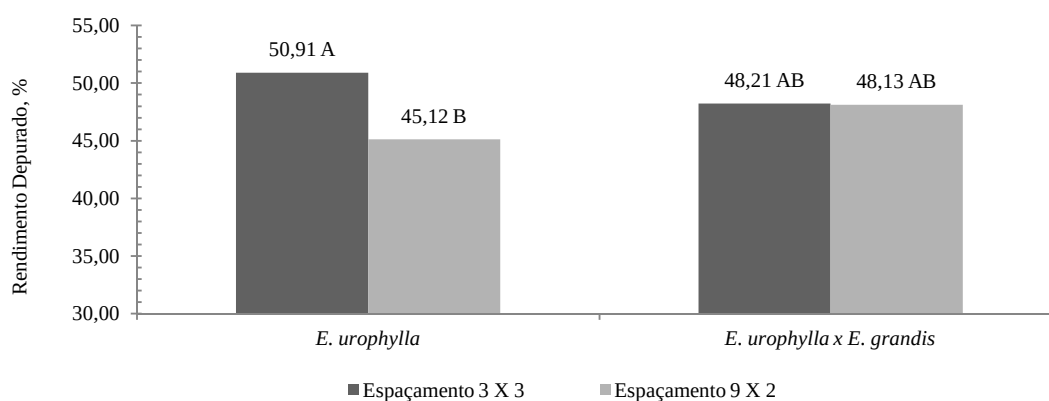


Figura 22. Rendimento depurado de celulose com álcali ativo de 18 % em função da espécie e espaçamento

A análise de variância geral para álcali ativo de 16 e 18 % (Tabela 15) mostrou diferenças significativas no nível de 1 % para espaçamento e de 5 % na interação espécie x espaçamento quando utilizado maior carga de álcali. Esta diferença estatística pode ser explicada numa comparação com algumas propriedades da madeira que também apresentaram diferenças para espaçamento como a densidade básica, solubilidade NaOH, teor de holocelulose e rendimento bruto.

Tabela 15. Análise de variância geral nos dois níveis de álcali ativo para rendimento depurado de celulose, %

	Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Álcali ativo 16 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	49,22	0,51 ^{ns}
		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	48,28	
	Espaçamento	3x3 m	49,29	0,45 ^{ns}
		9x2 m	48,21	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,13 ^{ns}
Álcali ativo 18 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	47,69	0,87 ^{ns}
		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	48,17	
	Espaçamento	3x3 m	49,41	0,01 ^{**}
		9x2 m	46,63	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,10 [*]

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.3.3 Teor de rejeitos base celulose e base madeira

A Tabela 16 mostra o teor de rejeitos base madeira e base celulose nos dois níveis de álcali ativo (16 e 18%) dos quatro tratamentos. Observa-se que não houve diferenças significativas pelo teste de tukey para estas determinações dentro de cada nível de álcali ativo.

Os resultados apresentados mostram simplesmente uma tendência de elevação do teor de rejeitos base madeira e celulose na madeira proveniente do espaçamento 3x3m quando comparada ao espaçamento 9x2m, mais notadamente para a madeira de *E. urophylla*. Este comportamento pode ser atribuído as diferentes propriedades da madeira de *E. urophylla* observada nos dois espaçamentos, principalmente, a maior densidade básica da madeira no espaçamento 3x3m.

É interessante destacar que o aumento da carga de álcali ativo no processo de polpação diminuiu o rendimento bruto e o teor de rejeitos, mas manteve o rendimento depurado semelhante. A carga alcalina de 18 % nas madeiras estudadas diminuiu drasticamente os teores de rejeitos apresentando valores bem próximo a zero.

O teor de rejeito base celulose e base madeira apresentaram relação positiva em relação à densidade básica da madeira, teor de extrativos e teor de lignina, e relação negativa para o teor de holocelulose. Com isso, pode-se concluir que as polpações Kraft realizadas com menor carga de álcali ativo geralmente resultam em teores de rejeitos mais elevados (BARRICHELO e FOELKEL, 1976; GOUVÊA et al., 2009).

Tabela 16. Teor de rejeito base madeira e base celulose nos dois níveis de álcali ativo dos quatro tratamentos

Álcali ativo %	Espécie	Espaçamento	Teor de Rejeito Base Madeira %	Teor de Rejeito Base Celulose %
16	<i>E. urophylla</i>	3x3 m	3,13 A	5,84 A
	<i>E. urophylla</i>	9x2m	2,27 A	4,58 A
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3x3m	3,23 A	6,24 A
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9x2m	2,78 A	5,42 A
18	<i>E. urophylla</i>	3x3m	0,22 a	0,64 a
	<i>E. urophylla</i>	9x2m	0,05 a	0,11 a
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3x3m	0,02 a	0,05 a
	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9x2m	0,01 a	0,04 a

5.3.4 Número Kappa

O número Kappa é uma determinação freqüentemente realizada nas indústrias de polpação Kraft para avaliar o teor de lignina residual na celulose. O maior valor de número Kappa significa maior teor de lignina residual e vice-versa. Esta análise mostra como foi o grau de deslignificação da celulose após polpação e como deverá ser o branqueamento da celulose (QUEIROZ et al., 2004; TRUGILHO et al., 2005; GOUVÊA et al., 2009).

A Figura 23 mostra que as médias dos quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey não mostraram diferenças significativas. Numa comparação geral a outros trabalhos fica evidenciado que o número Kappa (NK = 28 – 30) encontrado foi superior aos praticados industrialmente (NK = 17-18), sinal que a carga álcali ativo base madeira de 16 % foi insuficiente para o teor de lignina residual. Observa-se uma diferença de aproximadamente 9 % no comportamento do *E. urophylla* do menor para o maior espaçamento. Já para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* está influência não foi destacada, devido a proximidade dos valores NK para os diferentes espaçamentos que apresentaram variação de aproximadamente 0,6%.

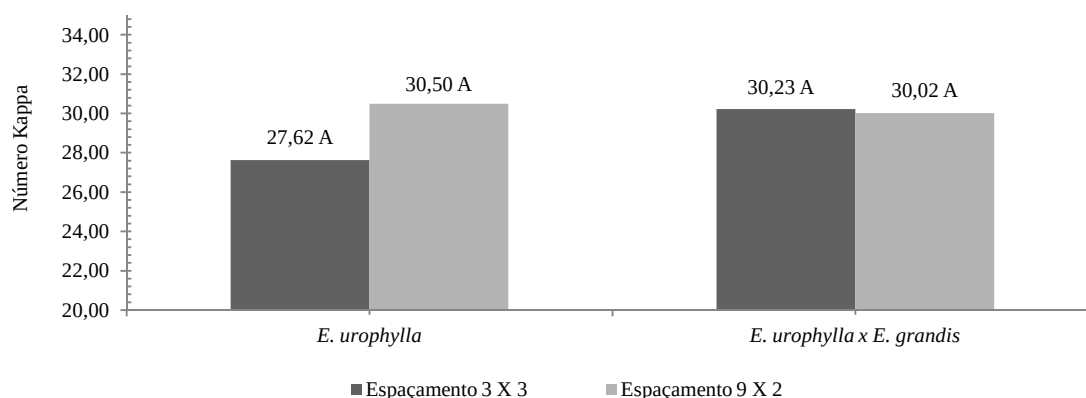


Figura 23. Número Kappa da celulose (álcali ativo de 16%) em função da espécie e espaçamento

A Figura 24 mostra a média dos quatro tratamentos analisados para número kappa quando da utilização da carga de álcali ativo de 18%.

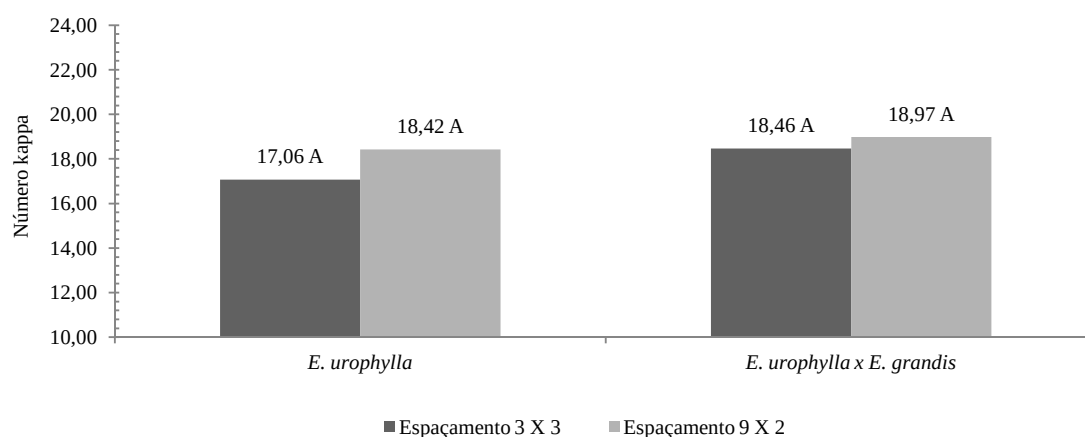


Figura 24. Número Kappa da celulose (álcali ativo de 18%) em função da espécie e espaçamento

Observa-se na Figura 24 que as médias dos quatro tratamentos analisados através do teste de Tukey não apresentaram diferenças significativas, contudo deve-se ressaltar que os valores encontrados para numero Kappa foram conformes ao encontrado em diversas literaturas (NK = 17-18). Sansígolo e Curvelo (1994) comentam que pode-se caracterizar a deslignificação da madeira em função de três parâmetros tais como densidade básica da madeira, teor de lignina na madeira e estrutura da lignina (teor de guaiacila/siringila). Nesta análise fica evidenciado que o tratamento que apresentou o menor

teor de lignina residual na celulose foi o *E. urophylla* no menor espaçamento com NK = 17,06. Para ambos os outros tratamentos todos apresentaram valores de NK na faixa de 18. Uma explicação para este resultado é que o *E. urophylla* no espaçamento 3x3m foi o tratamento que apresentou a maior densidade básica e o menor teor de lignina na madeira na media geral entre os tratamentos, demonstrando desta forma, que o número Kappa teve relação negativa com a densidade básica da madeira e positiva com o teor de lignina na madeira.

A Tabela 17 revela que não foi encontrada diferença significativa para número Kappa da celulose quando da comparação das médias gerais, para verificar as influências do espaçamento, tipo de madeira e interação entre eles.

Para álcali ativo de 16% fica evidenciado que o teor de lignina residual foi acima do esperado tanto para a influência da espécie quanto do espaçamento.

Para álcali ativo de 18% foram encontrados valores na faixa usual utilizado pelas maiorias das empresas. Numa análise sobre a influência das espécies pode-se observar que *E. urophylla* ficou caracterizado como a espécie que apresentou o valor mais baixo de lignina residual (NK = 17,74) em relação ao híbrido (NK = 18,71). Para a influência do espaçamento, nota-se menor número Kappa no menor espaçamento (NK = 17,76) e no maior espaçamento (NK = 18,69). Novamente esses resultados demonstram uma ligação com a densidade básica e teor de lignina da madeira.

Tabela 17. Análise de variância geral para número kappa

	Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Álcali ativo 16 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	29,06	0,76 ^{ns}
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	30,12	
	Espaçamento	3x3 m	28,92	1,20 ^{ns}
		9x2 m	30,25	
	Interação Espécie x Espaçamento			1,63 ^{ns}
Álcali ativo 18 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	17,74	0,19 ^{ns}
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	18,71	
	Espaçamento	3x3 m	17,76	0,21 ^{ns}
		9x2 m	18,69	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,56 ^{ns}

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

5.3.5 Consumo específico de madeira

O consumo específico de madeira na indústria de celulose é expresso em volume, normalmente em m³ de madeira sólidos necessária para a produção de uma tonelada de celulose depurada seca. Este é um método de fundamental importância econômica para as empresas, pois determina a quantidade necessária de matéria-prima que precisa entrar na fábrica para estimar a produção final de celulose (MORAES, 2011).

As Figuras 25 e 26 representam o consumo específico de madeira com diferentes níveis de carga de álcali ativo (16% e 18%) e o teste Tukey de comparação de médias.

A Figura 25 mostra o consumo específico de madeira quando da utilização de álcali ativo de 16%. Observa-se que *E. urophylla* no espaçamento 3x3m apresentou o menor consumo específico entre os tratamentos, sendo que esta espécie diferenciou-se tanto para espaçamento quanto em relação ao híbrido do *E. urophylla* x *E. grandis*. A Figura 26, referente ao consumo específico de madeira com carga de álcali ativo de 18%, mostra diferença estatística apenas nos tratamentos de ocorrência do *E. urophylla*. Numa análise entre as Figuras 25 e 26 fica evidenciado que o melhor consumo específico foi apresentado pelo *E. urophylla* no espaçamento 3x3m, e que este mesmo clone teve comportamentos significativos quando comparado ao espaçamento. Para o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, o espaçamento basicamente não interferiu no comportamento do consumo específico que apresentou valores bem próximos, principalmente quando utilizada carga de álcali ativo de 18%.

Estas diferenças observadas estão relacionadas com a densidade básicas encontradas e o rendimento depurado das espécies que afetou significativamente no comportamento do consumo específico.

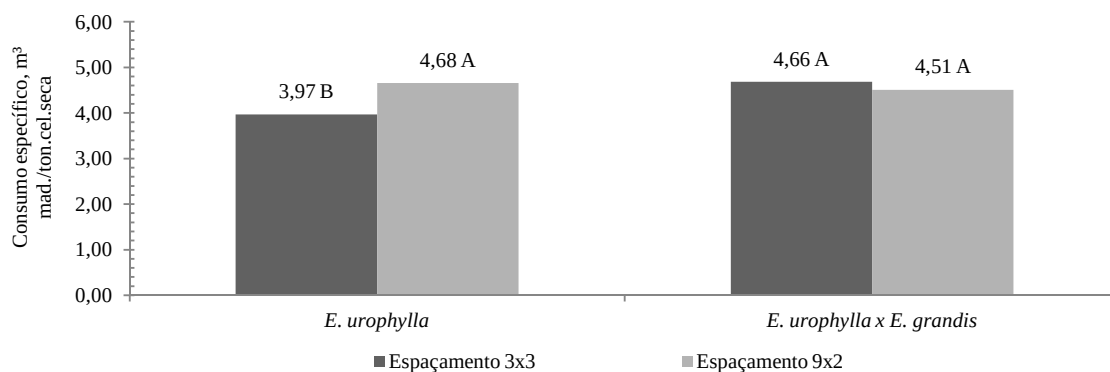


Figura 25. Consumo específico de madeira com álcali 16% em função da espécie e espaçamento

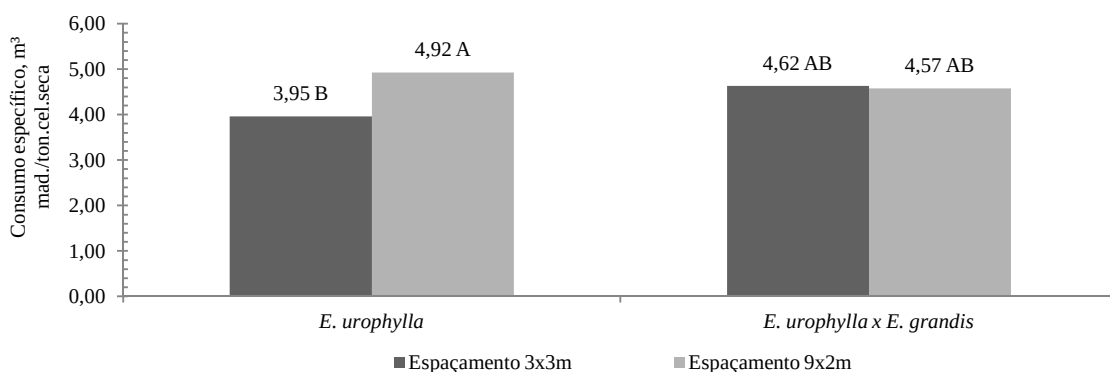


Figura 26. Consumo específico de madeira com álcali 18% em função da espécie e espaçamento

Observa-se na Tabela 16 médias gerais diferindo significativamente para espaçamento, tipo de madeira e interação espaçamento x tipo de madeira. Analisando o comportamento com carga de álcali ativo de 16%, verifica-se significância no nível de 1% para o comportamento das espécies e 5% para interação espécie x espaçamento. Para a carga de álcali ativo de 18%, diferenças significativas no nível de 5% para espaçamento e 1 % para interação tipo de madeira x espaçamento. O consumo específico de madeira na indústria de celulose é dependente de fatores tais como densidade básica da madeira, o rendimento da madeira no processo de polpação e as perdas de madeira que ocorrem no setor de preparação (TRUGILHO et al., 2005; GOMIDE et al., 2005; SANTOS e SANSÍGOLO, 2007; MORAIS, 2011). No caso deste estudo, as madeiras que apresentaram a maior densidade básica, foram as que consequentemente representaram o menor consumo específico de madeira.

Na comparação entre os distintos teores de carga alcalina, pode-se observar que o aumento do álcali ativo, basicamente não influenciou nos resultados finais do consumo específico para as madeiras.

Tabela 18. Análise geral do comportamento da espécie e do espaçamento para o consumo específico de madeira, m³ mad/ton cel.

	Fonte de Variação	Tratamentos	Média	Teste F
Álcali ativo 16 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	4,31	0,04*
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	4,59	
	Espaçamento	3x3 m	4,32	0,06 ^{ns}
		9x2 m	4,58	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,00**
Álcali ativo 18 %	Espécie	<i>E. urophylla</i>	4,49	0,34 ^{ns}
		<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	4,60	
	Espaçamento	3x3 m	4,33	0,01*
		9x2 m	4,75	
	Interação Espécie x Espaçamento			0,00 **

ns - não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%

6 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, a análise da madeira de *E. urophylla* e do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* submetida a diferentes modelos silviculturais mostrou que o espaçamento silvipastoril (9x2m) em relação ao espaçamento comercial (3x3m) modificou significativamente algumas características e propriedades da madeira, sendo que estas diferenças foram mais influenciadas pelo modelo de produção do que pelo tipo de espécie. Assim, salienta-se que tanto o espaçamento inicial quanto o tipo de espécie são de fundamental importância no planejamento florestal principalmente ao relacionado à qualidade da matéria-prima produzida.

Com relação aos parâmetros dendrométricos das árvores provenientes dos dois modelos de produção conclui-se que:

- a) Não houve diferença significativa no volume comercial das árvores sem casca para a idade estudada. Observou-se apenas um ligeiro acréscimo neste parâmetro para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (0,209 m³) em relação ao *E. urophylla* (0,199 m³).
- b) A percentagem de casca em volume das árvores no espaçamento 9x2 (11,49%) foi significativamente superior às árvores no espaçamento 3x3 (9,92%). Para as espécies, o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou tendências de maior percentagem de casca, mas com menor densidade básica da casca em relação o *E. urophylla*.

c) A massa seca comercial das árvores foi ligeiramente influenciada pelo espaçamento entre árvores. Observou-se uma maior massa no espaçamento 3x3m (97,92 kg) em relação ao 9x2m (92,57 kg).

Em relação à influência do modelo de produção nas propriedades físicas e químicas das madeiras estudadas conclui-se que:

a) A densidade básica da madeira de *E. urophylla* no modelo de produção silvipastoril (0,448 g/cm³) foi significativamente inferior a densidade básica da madeira no modelo de produção comercial (0,509 g/cm³). A densidade básica da madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* não sofreu alteração em função dos modelos de produção (0,455 g/cm³).

b) A madeira proveniente do modelo de produção comercial apresentou S_{H₂O_q} (3,26%), NaOH 1% (11,92%), extrativos totais (2,75%), lignina (23,7%), holocelulose (78,08%) e cinzas (0,27%). Os valores correspondentes para o modelo silvipastoril foram; (3,29%), (13,50%), (2,93%), (24,2%), (74,35%) e (0,35%).

c) A madeira de *E. urophylla* caracterizou por apresentar S_{H₂O_q} (3,01%), NaOH 1% (12,52%), extrativos totais (2,77%), lignina (23,7%), holocelulose (76,69%) e cinzas (0,32%). Os valores correspondentes para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* foram: (3,55%), (12,91%), (2,91%), (24,2%), (75,73%) e (0,30%).

d) As análises químicas efetuadas revelam melhores propriedades para polpação kraft para as madeiras provenientes do modelo de produção comercial e com a madeira de *E. urophylla*. O efeito do modelo de produção influenciou mais nas análises químicas da madeira que o efeito de espécies.

Em relação ao modelo de produção da madeira na polpação Kraft conclui-se que:

a) A celulose (número kappa = 17 – 18) proveniente do modelo de produção comercial apresentou rendimento depurado de 49,41% e consumo específico de madeira de 4,33 m³/t de celulose. Os valores correspondentes para o modelo de produção silvipastoril foram 46,63% e 4,75 m³/t de celulose.

b) A celulose (número kappa = 17 – 18) produzida da madeira de *E. urophylla* apresentou rendimento depurado de 47,69% e consumo específico de madeira de 4,49 m³/t de celulose. Os valores correspondentes para a madeira do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* foram: 48,17% e 4,60 m³/t de celulose.

c) Os resultados da polpação kraft mostraram relações muito boas e esperadas com a densidade básica e análises químicas efetuadas nas madeiras.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. 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, n. 68, p. 87-95, 2005.

ANDRADE, M. C. N. et al. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 165-175, 2010.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento do plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF: Série Técnica**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, set. 1980.

BARCELLOS, D. C. et al. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: Um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Revista Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 125 p.

BARRICHELO, L. E. G. et al. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de madeiras de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 802-808, 1983.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Estudos para produção de celulose sulfato de seis espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 12, p.77-95, 1976.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do Processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 19-30, set. 2007.

BENJAMIN, C. A. **Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos.** 2002. 132 f.

Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

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

BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais.** 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

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

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction.** 4. ed. Iowa: Blackwell, 2003. 554 p.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influence of the harvest over the quality of wood fuel. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 619-628, 2010.

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.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina de madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v. 14, p. 9-20, 1977.

BUSNARDO, C. A.; FOELKEL, C. E. B. Impregnação dos cavacos de *Eucalyptus urophylla* pelo licor alcalino Kraft durante o cozimento: I Penetração. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 12., 1979, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1979. p. 26-30.

CAMPOS, M. L. et al. Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens. **Boletim Agropecuário**, Lavras, MG, n. 65, p. 1-61, 2010. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdfextensao/bol_54.pdf>. Acesso: 08 nov. 2011.

CARDOSO, G. V. et al. Otimização das condições do cozimento kraft de *Eucalyptus globulus* em função do teor de lignina da madeira. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 35., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2002. p. 20.

CARDOSO, G. V. et al. Adequação de metodologias amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus glóbulos* para determinação do teor de cinzas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 34., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2001. p. 7.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v.10, n. 2, p. 242-256, 2004.

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de Eucaliptos urograndis, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2011.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, 1972.

FERREIRA, W. G. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunni* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.

FERREIRA, C. R. et al. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1- qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

FERNANDES, E. D. et al. Influencia da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, jun. 2011.

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

FOELKEL, C. E. B. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, São Paulo, 2005. capítulo 1, 109 p. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capítulos/capítulos_casca.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2011.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: O PAPEL, 1990. p. 719-728.

FOELKEL, C. E. B. et al. Acerca da solubilidade em álcalis de materiais celulósicos. I. Madeiras do eucalipto e da acácia-negra e polpas comerciais de fibras curtas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 13., 1980, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Revista ABCP, 1980. p. 43-53.

FREDDO, A. **Elementos minerais em madeira de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada.** 1997. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

GARCIA, R.; ANDRADE, C. M. S. Sistemas silvipastoris na região Sudeste. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p. 173-188.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais....** Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 447-471.

GARLET, V. N. **Influência do espaçamento das árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica Kraft.** 1995. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

GOMES, J. M. **Sistemas agroflorestais.** Viçosa, MG, 2000. 58 p.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H; REGAZZI, A. J. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMINHO, J. et al. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 33, n. 1, p. 3-8, 2001.

GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Variability of heartwood content in plantation-grown *Eucalyptus globulus* labill. **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 32, n. 2, p. 189-195, 2000.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus x grandis* para produtos sólidos.** 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

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

GOUVÊA, A. F. G. et al. Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de Eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p.1175-1185, 2009.

GRAÇA, L. R.; RODIGHERI, H. R.; CONTO, A. J. Custos florestais de produção: conceituação e aplicação. **Documentos Embrapa Florestas**, Colombo, n. 50, p. 1-32, 2000.

KRUSCHEWSKY, G. C. et al. Estudo da densidade de fluxo de fótons em sistema agrossilvipastoril com eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6., 2006, Campos dos Goitacazes, RJ. **Anais....**Campos dos Goitacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006.

LEPAGE, E. S. Química da madeira. In: LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986. cap. 4, p. 69-98.

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

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIM, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, 2008.

MACEDO, R. L. G. et al. **Sistemas agroflorestais**: plantio em linha de árvores com potencial madeireiro. Lavras: UFLA, 2000. 21 p. (Boletim agropecuário, 37).

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

MAGATON, A. B. et al. Composição química da madeira de espécies de eucalipto. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Química, 2002. Disponível em: <<https://sec.sbq.org.br/cd29ra/resumos/T1908-1.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

MARRON, A.; NEVES, J. M. Aproveitamento de resíduos de serraria de árvores de *Eucalyptus grandis* de 15 anos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2000, Puerto Iguazú. **Actas...** Puerto Iguazú: CIADICYP, 2000. 1 CD-ROM.

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

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Macrozoneamento geoambiental do Estado do Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1989. 242 p.

- MELLO, H. A. et al. M. Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, n. 13, p. 143-162, 1976.
- MILAGRES, F. R. Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia nir. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2009, Viçosa, MG.
- MIRANDA, I.; TOMÉ, M.; PEREIRA, H. The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* labill pulpwood. **APPITA Journal**, Carlton, v. 56, n. 2, p. 140-144, 2003.
- MIRANDA, I.; ALMEIDA, M. H.; PEREIRA, H. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 149, n. 1/3, p. 235-240, 2001.
- MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Variation of heartwood and sapwood in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees grown with different spacings. **Trees-Structure and Function**, Heidelberg, v. 23, n. 3, p. 367-372, 2009.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.112 p.
- MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- MORAES, F. A. B. **Modelo para avaliação do consumo específico de madeira e insumos energéticos no processo de produção de celulose e papel**. 2011. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2011.
- MOKFIENSKI, A. et al. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2003. p. 15-28.
- NEPOMUCENO, A. N.; SILVA, I. C. Caracterização de sistemas silvipastoris da região noroeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 279-287, abr./jun. 2009.
- NICODEMO, M. L. F. et al. Sistemas silvipastoris – Introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste brasileiro. **Embrapa gado de Corte**, Campo Grande, 2004. 37 p.

NUNES, J. S. D.; SOUZA, L. F.; VIEIRA, A. Fisionomias vegetais e uso do solo no planalto de Mato Grosso do Sul. In: SIMPOSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO; SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4.; REUNION PLENARIA SELPER, 6., 1986, Gramado. **Anais...** Gramado: INPE; SELPER; SBC, 1986. p. 211.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVEIRA, V. P. Análise de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2000.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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

OLIVEIRA, E. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

ONA, T. et al. Relationship between various extracted basic densities and wood chemical components in *Eucalyptus camaldulensis*. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 31, n. 3, p. 205-216, 1997.

PACIULLO, D. S. C. et al. Composição química e digestibilidade da forragem e consumo de matéria seca por novilhas holandesas x zebu em sistema silvipastoril e em monocultura de *brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6., 2006, Campos dos Goitacazes. **Anais....** Campos dos Goitacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006.

PEREIRA, H.; ARAUJO, M. C. Raw-material quality of fast grown *Eucalyptus globulus* during the first year. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 11, p. 421-427, 1990.

PEREIRA, J. C. D. et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos Embrapa Florestas**, Colombo, n. 38, p. 1- 113, 2000.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake clones. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between-tree variation of bark content and wood density of eucalyptus globules in commercial plantations. **IAWA Journal**, Leiden, v. 22, p. 255-265, 2001.

ROCHA, D. C. **Efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis* sobre as suas propriedades químicas e resistência natural a fungos e cupins**. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

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

ROSA, C. A. B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus glóbulos* na produção e na qualidade da celulose Kraft**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

SANTOS, S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n.1, p. 53-63, jan./mar. 2007.

SANSÍGOLO, C. A.; CURVELO, A. A. S. Deslignificação em etanol-água de *Eucalyptus globulus*: características da lignina e da polpa. **O Papel**, São Paulo, p. 23-29, ago. 1994.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras; Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1997. 433 p.

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

SILVA, V. P. Sistemas silvipastoris em Mato Grosso do Sul - Para que adotá-los? In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, J. C. **Espaçamentos em povoamentos florestais**: efeitos na produtividade, qualidade e na economicidade. Piracicaba: Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1984. 39 p. (não publicado).

SILVA, J. C.; XAVIER, B. A. **Eucalipto**: manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade. Viçosa, MG, 2006. 65 p.

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

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SMALIAN, H. L. **Beitrag zur Holzmesskunst Strausund**: Dank, 1937. 124 p.

SMITH, D. M. The practice of silviculture. 7. ed. New York: John Wiley, 1962. 578 p.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. **Bioresource**, Amsterdam, v. 2, n. 3, p. 472-499, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 1999. 573 p.

TRUGILHO, P. F. et al. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

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

VALE, R. S. et al. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 285-297, 2002.

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

WEHR, T. R. ; BARRICHELO, L. E. G. Cozimento kraft com madeiras de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 25., São Paulo, 1992. **Anais...**São Paulo: ABTCP, 1992. p.161-177. v. 25, p. 1-17.