

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE DO RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA
BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE
CURTA ROTAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Elder Eloy

Frederico Westphalen, RS, Brasil

2013

QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

Elder Eloy

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Eloy, Elder

Quantificação e caracterização da Biomassa Florestal em plantios de curta rotação / Elder Eloy.-2013.

88 p.; 30cm

Orientadora: Braulio Otomar Caron

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2013

1. Propriedade da madeira 2. Energia da biomassa florestal 3. Espaçamento de plantio. I. Caron, Braulio Otomar II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte do RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:
Agricultura e Ambiente**

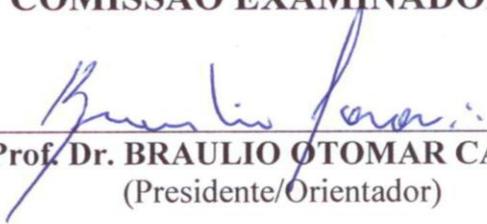
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM
PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO**

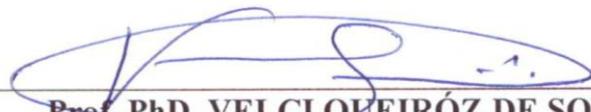
elaborada por
Elder Eloy

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. BRAULIO OTOMAR CARON
(Presidente/Orientador)



Prof. Phd. VELCI QUEIRÓZ DE SOUZA



Prof. Dr. RÔMULO TREVISAN

Frederico Westphalen, 17 de janeiro de 2013.

**A Deus e aos meus pais Ari e Matilde,
por serem minha inspiração diária,
formando a base desta etapa.
Dedico-lhes esse trabalho.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida, por me dar força, sabedoria, perseverança e disponibilizar um mundo repleto de possibilidades.

À minha família, que sempre contribuiu para minha educação, apoiando e incentivando em todas as minhas decisões, com suas inúmeras orações, palavras de sabedoria e amor incondicional, além de toda confiança depositada durante o tempo que estive distante para a realização deste sonho em comum. Meu pai e minha mãe, exemplos de vida, garra e determinação, características servidas de motivação para prosseguir nessa caminhada.

À Síria, minha namorada e companheira dessa longa jornada, pelo carinho, amor, compreensão e paciência nos momentos de minha ausência, pelo apoio incondicional, pela sua força e por acreditar tanto em mim.

Ao professor Dr. Braulio Otomar Caron, pela orientação, ensinamentos, companheirismo, amizade, estímulo e confiança depositados em mim, que foram fundamentais na realização desse trabalho e de muitos outros.

Aos professores Denise Schmidt, Velci Queiróz de Souza, Rômulo Trevisan e Rafaelo Balbinot pelo incentivo, amizade, ensinamentos concedidos e pelas valiosas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado. Assim como à Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* de Frederico Westphalen - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS) que, através do Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA), possibilitou a realização desse trabalho.

Aos meus grandes amigos do Laboratório de Agroclimatologia, em especial ao Gean, Elvis, Mauricio, Luciano, Felipe, Marvius e Douglas, pelas amizades, parceria, companheirismo e fundamentais contribuições, tanto nos trabalhos de campo quanto em laboratório. E ao Alexandre, que mesmo distante, participou com valiosas contribuições e esta presente em todos os momentos.

Aos demais amigos e colegas do nosso conviver diário, que por ventura não estão aqui citados, pelo incentivo e amizade. Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito desse trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

Autor: Elder Eloy

Orientador: Braulio Otomar Caron

Data e Local de defesa: Frederico Westphalen, 17 de janeiro de 2013.

Esse estudo teve como objetivo quantificar e caracterizar a biomassa florestal através da determinação da produção de biomassa, do poder calorífico superior, da massa específica básica e da produtividade energética das espécies: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill, distribuídas em diferentes espaçamentos de plantio: 2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, no primeiro e terceiro ano após o plantio. Para tanto, foi analisado um experimento situado no município de Frederico Westphalen-RS, instalado em delineamento de blocos completos casualizados com três repetições, no esquema de parcelas subdivididas. Após a derrubada das árvores, foram retirados discos de 2,0 cm de espessura nas posições do tronco: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total, para as avaliações da biomassa de madeira e casca, poder calorífico superior e massa específica básica. Para a determinação da biomassa e poder calorífico superior dos galhos e folhas, foram retiradas amostras estratificadas e determinadas seu peso final. A determinação do poder calorífico superior das árvores foi realizada a partir da ponderação dos valores obtidos em cada compartimento (madeira, casca, galho e folha). A determinação da massa específica básica ponderada foi realizada a partir da ponderação do volume total sem casca com os valores verificados dos discos coletados em diferentes posições ao longo do tronco. Já a produtividade energética da biomassa foi determinada a partir dos valores de biomassa da parte aérea e do poder calorífico superior de cada compartimento. Os resultados indicaram que os diferentes espaçamentos de plantio proporcionaram diferentes quantidades de biomassa da parte aérea e, conseqüentemente, na produtividade energética das quatro espécies florestais estudadas, no primeiro e terceiro ano após o plantio. Os menores espaçamentos de plantio conduziram a um aumento na produção de biomassa por unidade de área nas diferentes espécies estudadas, sendo verificada uma tendência sistemática negativa em relação ao espaço vital proporcionado, influenciados principalmente pelo número de árvores presentes nos diferentes espaçamentos. Assim, as espécies que se destacaram na produção de biomassa foram o *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. A massa específica básica ponderada da madeira não apresentou uma variação de acréscimo ou decréscimo ao longo do tempo, sendo que as espécies *Acacia mearnsii* e *Ateleia glazioviana* apresentaram os maiores valores dessa propriedade. Todavia, os diferentes níveis de espaçamentos não induziram à variação sistemática do poder calorífico superior e da massa específica básica nas espécies estudadas. As produtividades energéticas obtidas no terceiro ano, para todas as espécies são superiores as do primeiro ano. A espécie *Eucalyptus grandis* apresentou as maiores potencialidades de produtividade energética, seguida da *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. Recomenda-se a utilização do menor espaçamento de plantio (2,0 x 1,0 m) para todas as espécies florestais estudadas, em plantios de curta rotação com uma maior produção de biomassa para fins energéticos.

Palavras-chave: Propriedade da madeira. Energia da biomassa florestal. Espaçamento de plantio.

ABSTRACT

Master dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF BIOMASS IN FOREST PLANTATIONS SHORT ROTATION

Author: Elder Eloy
Advisor: Bráulio Otomar Caron
Date and Place of the Defense: Frederico Westphalen, January 17, 2012.

This study aimed to quantify and characterize forest biomass by determining the biomass production, the power calorific value, of basic density and energy productivity of species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill, distributed in different planting space: 2.0x1.0 m; 2.0x1.5 m; 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m, the first and third year after planting. Therefore, it was considered an experiment located in the city of Frederico Westphalen-RS, installed in a randomized complete block design with three replications in a split-plot. After the felling of the trees were removed disks of 2.0 cm thick at positions Tree: 0% (base), 1.30 m (diameter at breast height - DBH), 25%, 50%, 75% and 100% of the total height, for evaluations of wood biomass and bark, power calorific value and higher basic density. To determine the biomass and power calorific value upper branches and leaves, stratified samples were taken and determined its final weight. The determination of power calorific value of the trees was carried out from the weighting of the values obtained in each compartment (wood, bark, twig and leaf). The determination of basic density weighted was performed from the weight of the total shelled with values recorded discs collected at different positions along the stem. Since the energy productivity of biomass was determined from the values of aboveground biomass and power calorific value of each compartment. The results showed that different planting spacing produced different amounts of aboveground biomass and hence the energy productivity of four tree species studied in the first and third year after planting. Minors planting spacing led to an increase in biomass production per unit area in different species, and we found a systematic tendency negative to living space provided, mainly influenced by the number of trees in the different spacing. Thus, species that have excelled in the production of biomass were *Eucalyptus grandis* and *Acacia mearnsii*. The basic density weighted of the wood did not show a variation of increase or decrease over time, and the species *Acacia mearnsii* and *Ateleia glazioviana* showed the highest values of this property. However, the different levels spacing did not induce the systematic variation of power calorific value and higher basic density in the studied species. The energy yields obtained in the third year, for all species are higher than those of the first year. The species *Eucalyptus grandis* has the greatest potential for energy productivity, followed by *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella*, *Ateleia glazioviana*. It is recommended to use the lowest row spacing (2.0 x 1.0 m) for all studied forest species in short rotation plantations with greater production of biomass for energy purposes.

Keywords: Wood Property. Energy of forest biomass. Planting spacing.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

- TABELA 1 - Análise de variância para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS37
- TABELA 2 - Biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS38
- TABELA 3 - Biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS39

CAPÍTULO III - PODER CALORÍFICO SUPERIOR E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

- TABELA 1 - Análise de variância para o poder calorífico superior (PCS) e da massa específica básica (ρ_b) da madeira das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS53
- TABELA 2 - Poder calorífico superior (PCS), em kcal kg⁻¹, das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, em diferentes anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS54
- TABELA 3 - Massa específica básica ponderada ($\rho_{b \text{ pond}}$) da madeira, em g cm⁻³, das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, em diferentes anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS55

CAPÍTULO IV - PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

TABELA 1 - Análise de variância para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS	69
TABELA 2 - Produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha ⁻¹ , das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS	71
TABELA 3 - Produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha ⁻¹ , das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS	72

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

- FIGURA 1 - Equações de regressão para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha^{-1} , das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS41
- FIGURA 2 - Equações de regressão para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha^{-1} , das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS41

CAPÍTULO IV - PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

- FIGURA 1 - Equações de regressão para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha^{-1} , das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS74
- FIGURA 2 - Equações de regressão para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha^{-1} , das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CAPÍTULO I	16
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Contexto energético	16
2.2 Espaçamento de plantio.....	17
2.3 Características gerais das espécies estudadas	18
2.3.1 <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden.....	18
2.3.2 <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.....	19
2.3.3 <i>Mimosa scabrella</i> Benth	20
2.3.4 <i>Ateleia glazioviana</i> Baill.....	21
2.4 Poder calorífico superior	21
2.5 Massa específica básica	22
2.6 Referências bibliográficas	23
3 CAPÍTULO II.....	30
BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE RECURSOS DENDROENERGÉTICOS	30
3.1 Resumo.....	30
3.2 Abstract.....	31
3.3 Introdução	31
3.4 Material e Métodos	34
3.4.1 Caracterização da área em estudo	34
3.4.2 Determinação da biomassa.....	35
3.4.3 Análise dos dados.....	35
3.5 Resultados e Discussão	36
3.6 Conclusões	42
3.7 Referências bibliográficas	42
4 CAPÍTULO III	45
PODER CALORÍFICO SUPERIOR E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO	45
4.1 Resumo.....	45
4.2 Abstract.....	46
4.3 Introdução	46
4.4 Material e Métodos	49
4.4.1 Caracterização da área em estudo	49
4.4.2 Determinação da massa específica básica ponderada ($\rho_{b \text{ pond}}$)	50
4.4.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS).....	50
4.4.4 Análise dos dados.....	51
4.5 Resultados e Discussão	52
4.6 Conclusões	57
4.7 Referências Bibliográficas.....	58

5 CAPÍTULO IV.....	62
PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO	62
5.1 Resumo.....	62
5.2 Abstract.....	63
5.3 Introdução	63
5.4 Material e Métodos	65
5.4.1 Caracterização da área em estudo	65
5.4.2 Determinação da biomassa.....	66
5.4.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS).....	67
5.4.4 Determinação da produtividade energética (PE).....	67
5.4.5 Análise dos dados.....	68
5.5 Resultados e Discussão	68
5.6 Conclusões	75
5.7 Referências Bibliográficas.....	75
6 CONCLUSÃO GERAL	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a demanda de energia está baseada, principalmente, em fontes não renováveis, o que vem desencadeando uma série de questionamentos em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico. Dessa forma, muitos países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo mediante a intensificação do uso de fontes renováveis.

A biomassa apresenta-se como uma boa fonte energética, pois o resultado do processo de conversão pode gerar três tipos de combustíveis diferentes, o sólido, o líquido e o gasoso, o que se configura em uma vantagem em relação às outras fontes energéticas, uma vez que se verifica certa flexibilidade de adaptação tecnológica de acordo com a situação. Outra característica importante da biomassa é a variedade em que a mesma é encontrada no ambiente, com potencial para aproveitamento energético, podendo ser adquirida de diferentes formas, como: resíduos culturais agrícolas e florestais (resultante das atividades de cultivo, manutenção, tratos culturais e colheita), resíduos industriais (proveniente do processamento da matéria prima, serrarias, produção de cana-de-açúcar, produção de celulose e papel, etc.), plantios energéticos e florestas nativas (MULLER, 2005).

Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. Essa é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas, o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a aproximadamente 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (RAMAGE; SCURLOCK, 1996).

No Brasil, a superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão de energia mais eficientes, que buscam

o melhor aproveitamento da biomassa que pode ser realizado por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

A participação da biomassa está em 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no País. A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético que, atualmente, vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (ANNEL, 2012).

Historicamente, a biomassa florestal sempre esteve presente ao longo da história da humanidade, apresentando participação diferenciada em diversas partes do mundo dependendo do nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas. Com o passar do tempo e a evolução da sociedade, as florestas foram sendo suprimidas para dar lugar a outras formas de uso do solo, ou manejadas de modo a ofertar os seus produtos, mantendo, em certa medida, a sua capacidade de disponibilizar serviços ambientais (MOREIRA, 2011).

No cenário energético nacional a lenha ocupa posição importante, tratando-se de um recurso natural renovável, que pode ter sua produção sustentável e não apresentar o caráter poluidor de outras fontes fósseis. Inegavelmente, a madeira apresenta um papel fundamental em termos de estratégias ligadas à produção e ao uso de energia, sendo evidente a retomada do seu consumo para determinado fim, que vem crescendo continuamente ao longo da última década no Brasil.

A utilização da biomassa florestal, tradicionalmente é associada ao desmatamento. No entanto, plantios florestais com fins energéticos podem ser cultivados exclusivamente com a finalidade de produzir lenha, carvão vegetal, briquetes e licor negro para uso industrial. Assim, no manejo adequado da plantação, se utilizam de técnicas que permitam a produção de madeira em quantidade e, principalmente em qualidade adequada para o desenvolvimento do setor.

Com a finalidade de atender os objetivos do projeto, no 1º, 3º, 5º e 7º ano são realizadas avaliações destrutivas em cada unidade experimental. Dessa forma, nesse trabalho foram utilizados os dados das avaliações destrutivas coletados no 1º ano (2009) e 3º ano (2011) de experimento.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar e caracterizar a biomassa florestal através da determinação da produção de biomassa, do poder

calorífico superior, da massa específica básica e da produtividade energética das espécies: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill, distribuídas em diferentes espaçamentos de plantio.

Nesse sentido, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- As espécies apresentam diferentes capacidades de produção de biomassa, poder calorífico superior e massa específica básica da madeira.
- Os espaçamentos de plantio influenciam na produção de biomassa, no poder calorífico superior e massa específica básica da madeira.
- As espécies apresentam diferentes produtividades energéticas da biomassa.
- Os espaçamentos de plantio influenciam na produtividade energética da biomassa

Cabe informar inicialmente, que o presente trabalho, a critério do autor, foi dividido em quatro capítulos:

- Revisão bibliográfica.
- Biomassa florestal em plantios de curta rotação para obtenção de recursos dendroenergéticos.
- Poder calorífico superior e massa específica básica de espécies arbóreas em plantios de curta rotação.
- Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação.

2 CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto energético

No campo energético, a madeira é tradicionalmente denominada de lenha e, dessa forma, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos ao longo dos tempos, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007).

No que diz respeito ao consumo energético de madeira, a produção de carvão vegetal se destaca, principalmente pela demanda do setor siderúrgico. O Brasil é o maior produtor mundial de aço com a utilização de carvão vegetal. O setor residencial é o segundo consumidor madeireiro para o uso em energia (estando atrelado à evolução do consumo de gás liquefeito de petróleo e seu substituto natural), ao passo que o terceiro setor mais importante está ligado ao ramo industrial (indústria de cimentos, papel e celulose, entre outros). O setor agrícola, por sua vez, figura em quarto lugar. Segundo Brito (2007), o consumo de madeira para fins energéticos é bastante elevado, sendo inclusive, superior ao utilizado para produção de chapas de fibras e similares no país.

Segundo Magalhães (1982) o conceito florestas energéticas foi introduzido na década de 80, para definir as plantações florestais com grande número de árvores por hectare, que tinham como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo. Normalmente, eram utilizados espaçamentos de 1,0x1,5 m; 2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m e 2,0x2,0 m (COUTO; MÜLLER, 2008). Nesse período, a empresa Florestal Acesita introduziu florestas super densas, plantando até 40.000 mudas por hectare, quando o padrão era de 2.000 (COSCARRELLI, 2001).

No entanto, essas experiências não apresentam os resultados esperados, devido ao pouco conhecimento técnico, a pouca qualidade do material genético e ao baixo nível tecnológico da silvicultura na época. Müller (2005) relata que esse período foi marcado essencialmente por plantios com menor produtividade e grande mortalidade de indivíduos, além dos impactos sobre a fertilidade e umidade do solo.

No manejo florestal, quando se deseja produzir biomassa para fins energéticos, é essencial a escolha da espécie, do material genético, das técnicas silviculturais adotadas e principalmente da densidade e rotação dos plantios. Mello et al., 1971; Resende, 1983; Ferreira et al., 1997, ressaltam que, com o tempo, a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, sendo que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens, ao passo que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação ocorre em idades mais avançadas.

2.2 Espaçamento de plantio

O espaçamento praticado no plantio é um dos principais fatores que afetam a formação das florestas, pois apresenta implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, interferindo as taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como as práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, os custos de produção (ELOY et al., 2010). A densidade de plantio pode influenciar várias características quantitativas e qualitativas, interferindo significativamente na morfologia das árvores e no seu crescimento, principalmente no diâmetro, independente de suas características genéticas (COELHO et al., 1970).

A escolha do espaçamento de plantio adequado para determinada espécie fundamenta-se no uso final da madeira e é de grande relevância por condicionar a quantidade de recursos naturais disponíveis ao crescimento de cada árvore. Considerando-se a diversidade de variação das espécies florestais e as diferentes qualidades de madeiras exigidas para cada uso, sabe-se que o espaçamento ideal para energia não é o mesmo indicado para produção de madeira para serraria (BALLONI; SIMÕES, 1980).

O espaçamento utilizado atualmente pelas principais empresas reflorestadoras do Brasil tem sido escolhido para possibilitar a mecanização das atividades de implantação, manutenção e exploração dos maciços florestais, motivo pelo qual tem sido dada preferência aos espaçamentos com aproximadamente 3 m entre as linhas (BERNARDO, 1995). O espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas plantadas, principalmente para as espécies de rápido crescimento; o espaçamento inadequado pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da

floresta, em razão da intensa competição intra-específica por água, nutrientes, luz e espaço (LELES et al., 1998).

Gomes (2002) realça que a escolha do espaçamento adequado tem por objetivo proporcionar a cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com a melhor qualidade e menor custo; sem, entretanto, desconsiderar a questão de proteção do solo. O espaçamento tido como ótimo é aquele capaz de fornecer o maior volume do produto, tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função também do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado. Vale et al. (1982) e Leite et al. (1997) observaram que a adoção de espaçamentos reduzidos acarreta a produção de toras de pequeno diâmetro e muitas árvores dominadas, o que compromete o volume final produzido.

Monteiro; Cordeiro (1983) ressaltam que os espaçamentos nos povoamentos florestais não devem ser sistematizados para cada espécie ou local, mas sim estudados em cada situação, baseados em informações precisas sobre o destino do produto final, tipo de solo, clima, hábito da espécie, sobrevivência esperada, tratos culturais, tipos de equipamentos a serem utilizados nos cortes e remoção da madeira.

Para a produção madeireira com fins energéticos normalmente recomenda-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista que o objetivo é a produção do maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível (COUTO; MÜLLER, 2008). Dessa forma, procura-se a utilização de espécies com plasticidade ambiental, altas produtividades e boas condições energéticas (densidade da madeira e poder calorífico).

2.3 Características gerais das espécies estudadas

2.3.1 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O eucalipto é originário da Austrália, pertencente à família Myrtaceae, apresenta uma produtividade média de $44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (AMBIENTE BRASIL, 2011), um poder calorífico superior de $4346 \text{ kcal kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2012) e massa específica básica de $0,460 \text{ g cm}^{-3}$ (LOPES, 2003). Caracteriza-se por apresentar um porte arbóreo formando densos maciços florestais. Sua altura pode chegar a 55 m e o diâmetro a altura do peito (DAP) entre 1,2 e 1,8

m, sendo que apresenta um ciclo de corte relativamente curto e com elevada produtividade (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

O eucalipto é a espécie mais cultivada em reflorestamento no Brasil, e tem sido apontado como uma das melhores opções para a produção de carvão vegetal, celulose e papel, em função de suas propriedades físicas, entre elas, a densidade básica, e principalmente, por possibilitar uma ampla distribuição edafoclimática (COUTO; MÜLLER, 2008).

A espécie foi introduzida no Brasil no início deste século, por volta de 1905, pelo engenheiro agrônomo Navarro de Andrade, com a finalidade de produção de dormentes de madeiras para estradas de ferro no Estado de São Paulo, pela Companhia Paulista Estradas de Ferro (ANDRADE, 1928).

2.3.2 *Acacia mearnsii* De Wild

A Acácia-negra pertence à família Fabaceae, apresenta uma produtividade média de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (SCHNEIDER, 2001), um poder calorífico superior de $4482 \text{ kcal kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2012) e uma massa específica básica entre $0,560$ e $0,850 \text{ g cm}^{-3}$ (CARVALHO, 1998). Caracteriza-se por apresentar um rápido crescimento, sendo que sua altura pode chegar a 18 m em fase adulta (FREDDO, 1997). Cresce em zonas climáticas úmidas e subúmidas, quentes e frias. Essas regiões possuem temperatura máxima média do mês mais quente entre 22°C e 28°C . No entanto, raramente é encontrada em locais onde a temperatura ultrapassa os 38°C a 40°C . A temperatura mínima média do mês mais frio é entre 0°C e 6°C e a temperatura mínima absoluta pode chegar a -11°C (EMBRAPA, 1988; KANNEGIESSER, 1990).

Os povoamentos de Acácia-negra podem ser estabelecidos em regiões de ocorrências naturais com precipitações médias anuais de 625 mm a 1.000 mm, até as mais elevadas ($1.600 \text{ mm ano}^{-1}$) (KANNEGIESSER, 1990). No Brasil, grande parte dos plantios de acácia-negra estão na região fisionômica natural do Rio Grande do Sul, denominada de Serra do Sudeste (Escudo Rio-Grandense) e Depressão Central (DEDECEK et al., 1998).

Atualmente, apresenta-se como uma espécie de grande importância econômica no extremo sul do país, cuja extensão de seus povoamentos situa-se logo após os dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Conforme Simon (2005) a acácia-negra é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais em nível mundial, utilizados principalmente no curtimento de peles. A madeira dessa espécie apresenta qualidade para a produção de celulose e papel, que

atualmente constitui seu principal destino (STEIN; TONIETTO, 1997), sendo cultivada em mais de 10 mil pequenas propriedades rurais, exercendo, portanto, importante papel socioeconômico (OLIVEIRA et al., 2006).

2.3.3 *Mimosa scabrella* Benth

A bracatinga pertence à família Fabaceae, apresenta uma produtividade média de $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CARVALHO, 2003), um poder calorífico superior de $4511 \text{ kcal kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2012) e uma massa específica básica entre $0,510$ e $0,610 \text{ g cm}^{-3}$ (JANKOWSKY et al., 1990). Caracterizada como uma espécie heliófila, perenifólia nativa das regiões de clima frio do Brasil, sendo tolerante a geadas. A maior área contínua de ocorrência é a Região Sul, com altitudes acima de 700 m, temperaturas médias anuais de 13 a $18,5^\circ \text{ C}$ e sem déficit hídrico (ROTTA; OLIVEIRA, 1981). Sendo exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista, principalmente onde ocorrem áreas perturbadas (CARVALHO, 1994).

Ocorre na floresta secundária, muitas vezes em formações puras (bracatingais), após ação antrópica, o que a caracteriza como espécie agressiva. Vive, em média, por vinte e cinco anos, sendo, portanto, uma espécie de baixa longevidade (CARVALHO, 1994).

É uma árvore de rápido crescimento inicial, que pode atingir 20 m de altura, apresentando tronco alto e esbelto (quando em maciços) ou curto e ramificado (quando isolada), com DAP podendo chegar até 40 cm (REITZ et al, 1978).

A madeira é utilizada serrada ou roliça (LORENZI, 1992). Contudo, o principal uso é para energia, pois fornece lenha e carvão de excelente qualidade. As sementes fornecem uma goma, da qual se extrai açucars, trigalactosil-pinitol e galactomanana, utilizada em alimentos, explosivos, cosméticos e fármacos, entre outros (GANTER, 1991). A casca possui tanino, porém em quantidades variáveis (KÖRBES, 1995), sendo que as folhas são usadas para consumo animal, principalmente no inverno, quando os pastos ficam secos.

A bracatinga é também ornamental, utilizada para arborização de ruas estreitas (LORENZI, 1992). Sendo importante para recuperação florestal e de solos degradados (CARPANEZZI et al., 1997) e utilizada para recomposição de matas ciliares, desde que não ocorra encharcamento e inundação (FERREIRA, 1983).

2.3.4 *Ateleia glazioviana* Baill

O Timbó pertence à família Fabaceae, apresenta uma produtividade média $9,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CARVALHO, 2003), um poder calorífico superior de $4492 \text{ kcal kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2012) e uma massa específica básica de $0,530 \text{ g cm}^{-3}$ (MATTOS, 2000). Caracteriza-se por ser uma árvore caducifólia, de porte médio, com 5 a 15 m de altura e 20 a 30 cm de DAP, podendo atingir até 25 m de altura e 70 cm de DAP, na idade adulta (CARVALHO, 2003). É uma espécie característica da vegetação secundária da Floresta Estacional Decidual, principalmente nas bacias dos rios Uruguai e Paraguai (RAMBO, 1953; REITZ et al., 1983).

Encontra-se mais frequentemente em áreas ensolaradas, incluindo bordas de matas, sendo uma espécie heliófila e medianamente tolerante a baixas temperaturas, na fase juvenil. Ocorre normalmente no Noroeste do Rio Grande do Sul e no meio Oeste de Santa Catarina (CARVALHO, 2003).

É utilizada como adubação verde, na recuperação de áreas degradadas, como madeira serrada e roliça, para energia, celulose e papel (LORENZI, 1992; CARVALHO, 1994). Existem relatos, em literatura, de casos de ação abortiva em bovinos e outros herbívoros pela ingestão de *Ateleia glazioviana* (LANGELOH et al., 1992; STOLF et al., 1994), devendo, portanto, ser evitada para o sombreamento em pastagens.

2.4 Poder calorífico superior

Em se tratando de materiais combustíveis, como é o caso da madeira, o poder calorífico é tido como a característica mais importante (CORDER, 1973). Segundo Cintra (2009), o poder calorífico representa a quantidade de energia na forma de calor liberado durante a queima total de uma determinada quantidade de combustível, expresso em caloria por grama ou quilocaloria por quilograma.

De acordo com o mesmo autor, existem duas maneiras de se expressar o poder calorífico de um combustível, sendo o poder calorífico superior e o inferior. No poder calorífico superior (PCS), a água formada durante a combustão, na reação entre o hidrogênio elementar da madeira e o oxigênio, é condensada e seu calor latente é recuperado e então somada à energia mensurada, mostrando o máximo potencial de fornecimento energético da

madeira, por isso está mais presente em diversos trabalhos de pesquisa, de forma a permitir a comparação entre diferentes fontes de energia. Já no poder calorífico inferior o calor de condensação da água não é considerado, pois ele é perdido na forma de vapor. Em termos de pesquisa e comparação de combustíveis, o mesmo autor diz que o poder calorífico superior é mais usual.

Quirino et al. (2005) ao revisarem na literatura sobre diferentes espécies florestais tropicais, encontraram valor médio de PCS igual a $4732 \text{ kcal kg}^{-1}$, variando do limite inferior de $3350 \text{ kcal kg}^{-1}$ ao limite superior de $5260 \text{ kcal kg}^{-1}$. Esses mesmos autores relatam valores de PCS para a espécie *Mimosa scabrella* de 4589 a $4890 \text{ kcal kg}^{-1}$ e para *Eucalyptus grandis* de 4501 a $4701 \text{ kcal kg}^{-1}$, estando dentro da faixa encontrada por Vale et al. (2000) que verificam para essa espécie valores médios de PCS de $4641 \text{ kcal kg}^{-1}$ e para *Acacia mangium* de $4619 \text{ kcal kg}^{-1}$. Baggio (2002) estudando a espécie *Ateleia glazioviana* observou um PCS de $4450 \text{ kcal kg}^{-1}$.

2.5 Massa específica básica

A qualidade da madeira vem ganhando cada vez mais importância, principalmente em florestas de rápido crescimento. Para a avaliação dessa qualidade e definir sua melhor utilização é essencial a identificação das propriedades físicas e mecânicas que, conseqüentemente, alteram o produto final.

A massa específica básica é considerada como o principal parâmetro físico, usado para expressar a qualidade nos variados processos industriais, devido a sua íntima relação com outras propriedades e, ainda, por ser de fácil determinação (EISFELD et al., 2009; MATTOS et al., 2011). A mesma está diretamente relacionada com a estrutura anatômica e composição química, acarretando em possíveis alterações na resistência mecânica, estabilidade dimensional e qualidade da superfície usinada (LOPES et al., 2011) e, resultando em uma complexa combinação dos constituintes internos da madeira.

Conforme Melo et al. (2006) do ponto de vista da utilização tecnológica da madeira, tão importante quanto o estudo da variação entre indivíduos é o diagnóstico da variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido transversal ou radial (medula-casca) quanto no sentido longitudinal (base-topo). Essas variações da massa específica básica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira das diversas espécies nativas ou exóticas, em menor

grandeza, à quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, influenciadas, principalmente, pela idade da planta, genótipo, qualidade do material e índice de sítio, clima, condições ambientais e tratamentos silviculturais utilizados (ALZATE et al., 2005; WASHUSEN et al., 2005; TREVISAN et al., 2007).

A estrutura da madeira a que se referem os autores compreende os diferentes tipos celulares (fibras, traqueoides, elementos vasculares e parênquima) e sua proporção no lenho, bem como suas dimensões. Nas madeiras da mesma espécie, as variações da massa específica básica são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais, como lenho inicial ou outonal, lenho de nó, lenho de reação, alterações químicas e posição de coleta da amostra no fuste.

Vale et al. (2009) afirmaram que durante o desenvolvimento das árvores, fatores ambientais e intrínsecos a uma própria espécie determinam o grau de variação da massa específica no sentido radial e longitudinal. Para Malan; Hoon (1992) o fator densidade populacional por meio do espaçamento e/ou desbaste, ou a combinação de ambos são métodos silviculturais que acarretam em maior desempenho na formação da planta e logo, na massa específica básica da madeira.

O conhecimento dos fatores que afetam a massa específica básica, bem como informações sobre a influência das práticas silviculturais ou sobre a relação entre a taxa de crescimento e essa característica tecnológica, ainda não são conclusivas (DEBELL et al., 2001). Para Roque e Ledzema (2003) o maior espaçamento acarretou no aumento da massa específica básica da madeira. Entretanto, Garcia et al. (1991) encontraram uma diminuição dessa característica com o aumento do espaçamento; e Vital; Della Lucia (1987), não relataram efeito significativo do espaçamento de plantio e a massa específica básica da madeira.

2.6 Referências bibliográficas

ALZATE, S. B. A. et al. 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.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em:
<<http://www.guiaflorestal.com.br/?pg=lerartigo&id=83>>. Acesso em: 13 set. 2011.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ. Brasil de Rothschild & Cia, 1928. 143 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energias Renováveis do Brasil – Energia da biomassa**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa%282%29.pdf>>. Acesso em: 02 de ago. 2012.

BAGGIO, A. J. **Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde**. EMBRAPA Florestas: Circular Técnica 68, p. 1-8, 2002.

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

BERNARDO, A. L. **Crescimento e Eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BRITO, J. B. **O uso energético da madeira**. Esalq/USP: Estudos Avançados 21, Piracicaba, p. 185-193. 2007.

CARPANEZZI, A.A.; PAGANO, S.N.; BAGGIO, A.J. Banco de sementes de bracatinga em povoamentos do sistema agroflorestal tradicional de cultivo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 3-19, 1997.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Especies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPf. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no centro-sul do Brasil. In: SEMINÁRIO ESPÉCIES NÃO TRADICIONAIS PARA PLANTIOS COM FINALIDADES PRODUTIVAS E AMBIENTAIS, 1998. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA–CNPf, 1998. p. 75-99.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

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

CORDER, S.E. **Wood and bark as fuel**. Corvallis: School of Forestry, 1973. 28 p.

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

COUTO, L; MÜLLER, M. D. Florestas Energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para Energia**. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1, p. 93-108, 2008.

DEBELL, D. S.; CHRISTOPHER, R. K.; GARTNER, B. L. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. **Australian Forestry**, v. 64, n. 2, p. 106-110, 2001.

DEDECEK, R. A. et al. Sistemas de preparación del suelo para plantación de *Acacia mearnsii* en dos lugares y su efecto en la productividad y en la erosión hídrica. In: PRIMER CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO: EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1998, Valdivia, Chile. **Actas...** Valdivia, Chile.

EISFELD, R. et al. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a partir de variáveis dendrométricas e da massa específica do disco. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E. et al. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Floresta. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA – CNPF, Documentos, nº 21, 1988. 113 p.

FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* 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, L. A. B. Arborização dos cursos d'água. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, n. 68, p. 16-21, 1983.

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

GANTER, J. L. M. S. **Estudo dos carboidratos de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga): análise estrutural dos oligosacarídeos e propriedades reológicas da galactomanana.** 1991. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, p. 1-8, 1991. (Circular Técnica, 179).

GOMES, J. E. **Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f (Teca) em área de cerrado sob diferentes espaçamentos.** 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

JANKOWSKY, I. P. et al. **Madeiras brasileiras.** Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.

KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas. *Acacia mearnsii* De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v. 4, n. 2, p. 198-212, 1990.

KÖRBES, V. C. **Manual de plantas medicinais.** Francisco Beltrão: Associação de Estudos, Orientação e Assistência Rural, 1995. 188 p.

LANGELOH, A.; MAIDANA-LEGUIZAMON, F.; DALSENTER, P. Potencial abortivo e infertilizante de plantas brasileiras contaminantes ocasionais de pastagens de bovinos e outros herbívoros de interesse econômico. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, n. 12, v. 1-2, p. 11-18, 1992.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAES, N. F. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus canaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LOPES, C. S. D. et al. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira.** 2003, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

MAGALHÃES, J. G. R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: **Uso da madeira para fins energéticos.** Belo Horizonte, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, p. 56-66, 1982.

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

MATTOS P. P. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioveana*). **Embrapa: Comunicado Técnico nº 47.** 2000. p. 6.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MELLO, H. A. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção da madeira industrial. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 13-14. 1971.

MELO, R. R. et al. Estudo da Variação da Densidade Básica de Sete Madeiras do Semi-Árido. **Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal.** v. 4, n. 7, fev. 2006.

MONTEIRO, R. F. R.; CORDEIRO, J. A. Ensaio conjugado de espaçamento de métodos de desbastes em *Pinus elliottii* Engelm. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 361-363, fev. 1983.

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

MÜLLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Etamarandiba, MG.** 2005, 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OLIVEIRA, L. S. et al. Ocorrência de *Phaops thunbergi* (Coleoptera: Curculionidae) em *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 971-972, 2006.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, p. 137-182, 1996.

RAMBO, B. Estudo comparativo das leguminosas riograndenses. **Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues**, Itajaí, n.5, p. 107-184, 1953.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, n. 28/30, p. 3-320, 1978.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34/35, p. 1-525, 1983.

RESENDE, J. L. P. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 165-176, 1983.

ROQUE, R. M.; LEDZEMA, R. M. Efecto del espaciamento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. **Madera y Bosques**, Heredia, v. 9, n. 2, p. 15- 27, 2003.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: 4º Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: bracatinga, uma alternativa para reflorestamento. **Anais...** EMBRAPA. URPFCS. Curitiba, 1981. p. 1-23.

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, 2001, p.151-165.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus terrelliana*, plantados em Anhembi-SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.

SILVA, D. A. et al. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p.1588-1595, 2012.

SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: STROHSCHOEN, A.G.; REMPEL, C. **Reflorestamento e recuperação ambiental: Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco**. Lajeado: Univates, 2005. p. 149-166.

STEIN, P. P.; TONIETTO, L. Black Wattle Silviculture in Brazil. In: BROWN, A.G.; KO, H.C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation**. Barton: RIRDC, 1997. p. 78-82.

STOLF, L. et al. Aborto em bovinos causado pela ingestão de *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, n. 14, v. 1, p. 15-18, 1994.

TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.

VALE, A. B. et al. **Influência do espaçamento e do sítio na produção Florestal**. Viçosa, MG: SIF, 1982. 20 p. (Boletim Técnico, 4).

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALE, A.T. et al. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.387- 394, 2009.

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

WASHUSEN, R. et al. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.

3 CAPÍTULO II

BIOMASSA FLORESTAL EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

3.1 Resumo

Esse trabalho tem como objetivo determinar a capacidade de produção de biomassa da parte aérea das espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos em plantio: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, nas idades de 1 e 3 anos. O presente trabalho foi realizado em um experimento conduzido no município de Frederico Westphalen-RS, instalado em delineamento experimental de blocos completos casualizados em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas. A determinação da biomassa consistiu na derrubada e pesagem dos diferentes compartimentos das árvores. Para a madeira e casca foram retirados discos de 2,0 cm de espessura nas posições do tronco: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total. Já para biomassa de galho e folha, foram retiradas amostras estratificadas e determinadas seu peso final. O aumento da densidade de plantio apresentou relação direta com a produção de biomassa por unidade de área nos diferentes anos de avaliação. A maior produção de biomassa foi observada nos espaçamentos mais adensados e concentrou-se principalmente no tronco e nos galhos das árvores. As espécies que se destacaram foram *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. Já a *Ateleia glazioviana* apresentou a menor produção de biomassa por unidade de área.

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella*, *Ateleia glazioviana*, Espaçamento de plantio.

BIOMASS IN FOREST PLANTATIONS SHORT ROTATION TO RAISE FUNDS DENDROENERGÉTICOS

3.2 Abstract

This study aimed to determine the production capacity of aboveground biomass of forest species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill distributed in different spacing in planting: 2.0x1.0 m; 2.0x1.5 m; 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m, at ages of 1 and 3 years. This work was performed in an experiment conducted in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental design complete block design with three replications in a split plot. The determination of the biomass consisted of cutting and weighing the different compartments of the trees. For the wood and bark were removed discs 2.0 cm in thickness in the stem positions: 0% (base), 25%, 50%, 75% and 100% of the total height. As for branch and leaf biomass, stratified samples were taken and determined its final weight. Increased planting density showed a direct relationship with the biomass production per unit area in different years of assessment. The highest biomass production was observed in the narrower spacing plant and concentrated mainly on the trunk and branches of trees. The species that stood out were *Eucalyptus grandis* and *Acacia mearnsii*. Already *Ateleia glazioviana* had the lowest biomass production per unit area.

Keywords: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella*, *Ateleia glazioviana*, Planting space.

3.3 Introdução

Na atualidade, o consumo mundial de energia vem crescendo de uma forma desenfreada. Ao longo das últimas décadas essa demanda de energia baseia-se, principalmente, em fontes não renováveis, desencadeando uma série de questionamentos em

relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico. Dessa forma, muitos países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo mediante a intensificação do uso de fontes renováveis, incluindo a biomassa florestal.

Biomassa é a matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Em termos florestais, pode ser toda a massa existente na floresta ou apenas a fração arbórea. A porção arbórea da biomassa de origem vegetal pode ser chamada de fitomassa florestal ou fitomassa arbórea (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

A participação da madeira no balanço energético brasileiro veio decrescendo ao longo do tempo, sobretudo porque houve um incentivo maior para o uso de derivados de petróleo e hidroeletricidade, para atendimento das novas demandas energéticas. Nos últimos dez anos, contudo, pode-se constatar uma forte reversão nessa tendência. Isso talvez esteja sendo motivado pelas incertezas quanto à oferta de outras fontes e, pelas vantagens econômicas, oportunidades ambientais e estratégicas oferecidas pelo uso da madeira como fonte de energia (BRITO, 2007).

O consumo de energia mundial proveniente da madeira cresceu 50% desde 2004, sendo que o volume de madeira consumido em 2007 para energia foi da ordem de 220 milhões de metros cúbicos anuais. Atualmente, 9,7% da energia produzida nacionalmente é originária da lenha e carvão vegetal, segundo fontes oficiais ligadas à área de energia (MME, 2011). Nesse contexto, há duas populações distintas utilizando essa fonte energética, uma tipicamente de países desenvolvidos, que utiliza equipamentos de alta tecnologia com altas eficiências e baixas emissões. Enquanto a outra enquadra os países subdesenvolvidos, representando a maior parte do consumo, utilizando essa fonte de energia em pequenas escalas com ineficiência e altas taxas de poluição (CINTRA, 2009).

Em ecossistemas florestais, a maior fração de biomassa compreende o caule ou o fuste das árvores (SOARES et al., 2006). A estimativa de uma floresta nativa ou plantio florestal pode variar muito com o tipo de floresta e local onde se encontra. Barichello et al. (2005) observaram que o percentual de biomassa nos diferentes compartimentos para *Acacia mearnsii* De Wild. variou com a idade, onde constataram que a sua produção pelos órgãos da planta teve a seguinte ordem: madeira > raízes > galhos vivos > casca > galhos mortos > folhas. A biomassa acima do solo representou 87,5% do total das árvores do povoamento florestal e a biomassa abaixo do solo chegou a aproximadamente 12% da biomassa total.

Atualmente, os avanços conquistados na área da silvicultura brasileira, estão aliados as ótimas condições edafoclimáticas existentes quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia. Nesse contexto de trabalho, deve-se ressaltar o papel das

plantações de curta rotação como meio de produção de biomassa (plantios florestais para fins energéticos), levando em consideração princípios econômicos, sociais e ambientais.

O manejo florestal visando à produção de biomassa para energia fundamenta-se no uso final da madeira, na escolha de material genético adequado, no controle da densidade de plantio e no período de rotação. Um dos aspectos mais importantes a ser considerado na formação de povoamentos florestais para fins energéticos é o espaçamento em que as plantas estão condicionadas no campo.

Como se sabe, o espaçamento e a idade de corte encontram-se intimamente relacionados, ou seja, plantios com maior densidade populacional, por exemplo, normalmente exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição entre plantas ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento do povoamento. Desta forma, o espaçamento apresenta uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, pois afeta as taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como as práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, os custos de produção (ELOY et al., 2010).

Na produção madeireira para fins energéticos normalmente recomenda-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista que o objetivo final é a produção do maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível (COUTO; MÜLLER, 2008). Desta forma, procura-se a utilização de espécies com grande plasticidade ambiental, altas produtividades e boas condições energéticas, ou seja, densidade da madeira e poder calorífico.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar a capacidade de produção de biomassa (madeira, casca, galho, folha) das espécies florestais *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos.

3.4 Material e Métodos

3.4.1 Caracterização da área em estudo

O trabalho foi realizado no experimento que está localizado em área pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO), vinculado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus do Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude, no município de Frederico Westphalen -RS

Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa. O experimento está distante de Irai à aproximadamente 30 km, sendo o município tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de Maluf (2000) Irai apresenta clima de tipo subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C.

O experimento foi instalado utilizando o delineamento experimental de blocos completos casualizados. Os blocos foram caracterizados por um fatorial 4x4, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill) e quatro espaçamentos (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m) em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, onde a parcela é representada pelo espaçamento mais espécie e a subparcela pela idade de aferição dos dados. O bloco contempla 16 unidades experimentais, sendo que cada uma apresenta 45 plantas distribuídas em cinco linhas. As unidades experimentais foram divididas em quatro subparcelas, sendo cada, composta por três plantas.

O solo predominante na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho distrófico típico e, no seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de aração e gradagem. O plantio foi realizado de forma manual em setembro de 2008.

Neste trabalho foram utilizados os dados das avaliações destrutivas coletados no 1º ano (2009) e 3º ano (2011) após o plantio.

3.4.2 Determinação da biomassa

Para determinação da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, utilizou-se o método direto o qual consistiu na derrubada e pesagem dos diferentes compartimentos das árvores (SANQUETTA, 2002). As massas frescas totais das árvores amostradas foram determinadas a campo. De cada compartimento foram retiradas amostras para aferição de sua massa fresca e seca em laboratório. As amostras dos diferentes compartimentos foram pesadas, identificadas e levadas para secagem em estufa com circulação e renovação de ar. As folhas foram secas a 75 °C, sendo que os galhos, a madeira e as cascas secos a 103 °C, até atingirem peso constante.

Para a amostra de madeira do fuste e casca foram retirados cinco discos de aproximadamente dois centímetros de espessura ao longo do fuste: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total. O peso de matéria seca da parte aérea, em toneladas por hectare, foi calculado considerando a densidade populacional de cada espaçamento, admitindo-se uma sobrevivência igual a 100%.

Para a espécie *Ateleia glazioviana*, a determinação da biomassa de folha não foi computada, devido à senescência das folhas ter iniciado antecipadamente ao período em que foram realizadas as avaliações, ou seja, no mês de setembro.

3.4.3 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2003), em que se determinou a análise de variância, análise de regressão, teste F e o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.5 Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferença significativa para a produtividade energética em todas as variáveis e nos fatores avaliados, ou seja, para ano, espécie e espaçamento. Observou-se também esta característica para todas as interações analisadas, ou seja, para os dois anos em relação às quatro espécies florestais, para os dois anos nos quatro espaçamentos de plantio, para as quatro espécies florestais frente aos quatro espaçamentos de plantio e, para os dois anos frente às quatro espécies florestais dispostas nos quatro espaçamentos de plantio (Tabela 1).

A partir da análise da influência do ano sobre as espécies distribuídas nos diferentes espaçamentos, observou-se diferença significativa no terceiro ano para as variáveis BM, BC, BG e BF. Já o primeiro ano apresentou a mesma resposta às variáveis observadas no terceiro ano, com exceção da BC que não demonstrou significância para essa característica (Tabela 1).

Quando analisada a produção de biomassa no primeiro ano de avaliação (Tabela 2), o *Eucalyptus grandis* apresentou maiores quantidades de BF em todos os espaçamentos, quando comparado com as outras espécies. Esta espécie também apresentou maiores quantidades de BM e BG, no entanto, não diferiu estatisticamente da *Acacia mearnsii* e *Mimosa scabrella* para essas variáveis e, de forma semelhante, a BC não apresentou diferença significativa entre as diferentes espécies.

Observou-se que os espaçamentos de plantio testados, conduziram a diferentes produções de biomassa dos compartimentos da parte aérea das plantas no terceiro ano. De uma maneira geral, verificou-se que as maiores contribuições em biomassa nos diferentes compartimentos tiveram a seguinte ordem BM>BG>BF>BC (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados com *Eucalyptus* spp. por Leles (1995); Barichello et al. (2005).

A espécie *Eucalyptus grandis* apresentou as maiores quantidades de BM (90,988 ton ha⁻¹; 47,636 ton ha⁻¹; 46,888 ton ha⁻¹ e 27,461 ton ha⁻¹), BF (17,454 ton ha⁻¹; 15,932 ton ha⁻¹; 16,783 ton ha⁻¹ e 5,585 ton ha⁻¹) e BC (16,284 ton ha⁻¹; 15,553 ton ha⁻¹; 13,536 ton ha⁻¹ e 6,998 ton ha⁻¹) para todos os espaçamentos (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, respectivamente), quando comparado com as outras espécies. Já a *Acacia mearnsii*, de uma maneira geral, para os mesmos espaçamentos, apresentou os maiores valores de BG (28,139 ton ha⁻¹; 21,733 ton ha⁻¹; 19,440 ton ha⁻¹ e 13,502 ton ha⁻¹) (Tabela 3).

TABELA 1 - Análise de variância para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Efeito Principal						
Fator de Estudo	GL	Quadrado Médio				
		BM	BC	BG	BF	
Espécie	3	7879,78*	534,11*	963,22*	868,33*	
Espaçamento	3	3646,97*	142,39*	236,49*	172,71*	
Espécie x espaçamento	9	500,43*	31,11*	26,87*	34,71*	
* Significativo à probabilidade de erro tipo A						
Ano	1	39126,46*	2289,43*	7969,67*	2168,66*	
Ano x espécie	3	7149,35*	508,79*	886,01*	502,81*	
Ano x espaçamento	3	3156,80*	125,94*	163,70*	101,99*	
Ano x espécie x espaçamento	9	442,79*	28,02*	20,85*	28,16*	
* Significativo à probabilidade de erro tipo B						
Coeficiente de determinação		0,98	0,97	0,97	0,98	
Coeficiente de variação (%)		11,4	25,8	19,2	14,9	
Efeito Simples						
Ano x espaçamento x espécie						
Ano	1	15	5,12*	0,18 ^{ns}	3,78*	11,38*
	3	15	4928,19*	297,58*	474,80*	347,22*
Espaçamento (m)	2,0 x 1,0	7	9048,10*	398,20*	893,21*	373,98*
	2,0 x 1,5	7	2494,16*	264,62*	503,19*	335,55*
	3,0 x 1,0	7	2298,93*	190,45*	464,48*	375,91*
	3,0 x 1,5	7	754,49*	50,71*	201,60*	33,26*
Espécie	<i>A. mearnsii</i>	7	2278,68*	219,44*	1156,88*	178,25*
	<i>M. scabrella</i>	7	669,07*	18,20*	40,70*	4,07*
	<i>E. grandis</i>	7	9642,56*	493,32*	400,27*	442,82*
	<i>A. glazioviana</i>	7	192,63*	5,22*	153,32*	-

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

TABELA 2 - Biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BM				
<i>A. mearnsii</i>	2,118 a ¹	1,080 a	0,804 a	0,643 a
<i>M. scabrella</i>	1,595 a	1,055 a	0,899 a	0,542 a
<i>E. grandis</i>	2,759 a	1,801 a	1,059 a	0,739 a
<i>A. glazioviana</i>	0,211 b	0,179 b	0,165 b	0,140 a
BC^{ns}				
<i>A. mearnsii</i>	0,548	0,232	0,195	0,088
<i>M. scabrella</i>	0,268	0,248	0,237	0,155
<i>E. grandis</i>	0,387	0,261	0,175	0,160
<i>A. glazioviana</i>	0,044	0,032	0,027	0,027
BG				
<i>A. mearnsii</i>	1,351 a	0,885 a	0,652 a	0,451 a
<i>M. scabrella</i>	1,357 a	1,061 a	0,731 a	0,762 a
<i>E. grandis</i>	2,376 a	1,425 a	1,090 a	0,996 a
<i>A. glazioviana</i>	0,017 b	0,013 b	0,009 b	0,006 b
BF				
<i>A. mearnsii</i>	1,155 b	0,919 b	1,038 b	0,779 b
<i>M. scabrella</i>	1,551 b	1,489 b	0,792 b	0,718 b
<i>E. grandis</i>	4,663 a	2,533 a	2,297 a	1,929 a
<i>A. glazioviana</i>	-	-	-	-

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; - = não avaliado.

TABELA 3 - Biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BM				
<i>A. mearnsii</i>	45,000 b ¹	24,584 b	17,740 b	7,293 b
<i>M. scabrella</i>	24,873 c	14,324 c	6,559 c	4,957 b
<i>E. grandis</i>	90,988 a	47,636 a	46,888 a	27,461 a
<i>A. glazioviana</i>	12,656 d	7,116 d	6,591 c	4,111 b
BC				
<i>A. mearnsii</i>	14,200 b	7,035 b	3,310 b	2,191 b
<i>M. scabrella</i>	3,820 c	3,049 c	1,359 c	0,910 c
<i>E. grandis</i>	16,284 a	15,553 a	13,536 a	6,998 a
<i>A. glazioviana</i>	1,977 d	1,484 d	0,939 c	0,662 c
BG				
<i>A. mearnsii</i>	28,139 a	21,733 a	19,440 a	13,502 a
<i>M. scabrella</i>	6,596 d	4,606 d	3,228 d	3,381 d
<i>E. grandis</i>	18,140 b	11,772 b	13,319 b	8,130 b
<i>A. glazioviana</i>	9,543 c	7,142 c	7,839 c	5,005 c
BF				
<i>A. mearnsii</i>	10,799 b	9,545 b	9,259 b	3,437 b
<i>M. scabrella</i>	2,877 c	1,559 c	1,584 c	1,094 c
<i>E. grandis</i>	17,454 a	15,932 a	16,783 a	5,585 a
<i>A. glazioviana</i>	-	-	-	-

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; - = não avaliado.

A espécie *Ateleia glazioviana* apresentou os menores valores de biomassa aérea para todos os compartimentos avaliados, ou seja, BM (12,656 ton ha⁻¹; 7,116 ton ha⁻¹; 6,591 ton ha⁻¹ e 4,111 ton ha⁻¹), BG (9,543 ton ha⁻¹; 7,142 ton ha⁻¹; 7,839 ton ha⁻¹ e 5,005 ton ha⁻¹) e BC (1,977 ton ha⁻¹; 1,484 ton ha⁻¹; 0,939 ton ha⁻¹ e 0,662 ton ha⁻¹) para todos os espaçamentos (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, respectivamente), ressaltando que a BF não foi mensurada devido à senescência das folhas no período avaliado (Tabela 3).

O crescimento inicial inferior em biomassa da *Ateleia glazioviana* em relação às demais espécies, tanto no período como no espaçamento, observado nas Tabelas 2 e 3, está relacionado com o seu crescimento que é considerado de lento a demorado conforme cita Carvalho (2003). No entanto, por ter como característica bifurcações e copa volumosa

apresentou grande quantidade de BG nos espaçamentos menos adensados (2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m), sendo esses superiores aos encontrados na BM, nos mesmos espaçamentos (Tabela 3). Essa variação é influenciada principalmente pela maior área útil para o desenvolvimento da copa disposta nos espaçamentos menos adensados.

A partir da análise das equações de regressão da biomassa aérea para o primeiro ano (Figura 1) e terceiro ano (Figura 2) após o plantio, observou-se uma relação direta da densidade de plantio com a distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos das plantas (BM, BC, BG, BF e BT) para as quatro espécies florestais, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores valores de biomassa quando comparados com os espaçamentos menos adensados. Para Botelho (1998) e Oliveira Neto et al. (2003) ocorre maior produção de biomassa por unidade de área nos espaçamentos mais reduzidos, principalmente em função do maior número de indivíduos.

Os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2 são corroborados por uma série de autores que desenvolveram vários trabalhos relacionados a influência da densidade de plantio na produção de povoamentos florestais. Dentre esses, pode-se citar os desenvolvidos por Gomes et al. (1997), Schneider et al. (2000), Schneider et al. (2001), Leles et al. (2001) e Müller (2005). Outros autores como, Leite et al. (1997), Leles et al. (1998), Assis et al. (1999) e Ladeira et al. (2001) encontraram diferença na distribuição de biomassa entre as espécies e para a mesma espécie, em função de fatores como espaçamento de plantio, idade do povoamento e qualidade de sítio.

De modo geral, podem-se observar tendências decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento da área útil, ou seja, do espaçamento de plantio. Por outro lado, vale ressaltar que com o tempo a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens e que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas (MÜLLER et al., 2005).

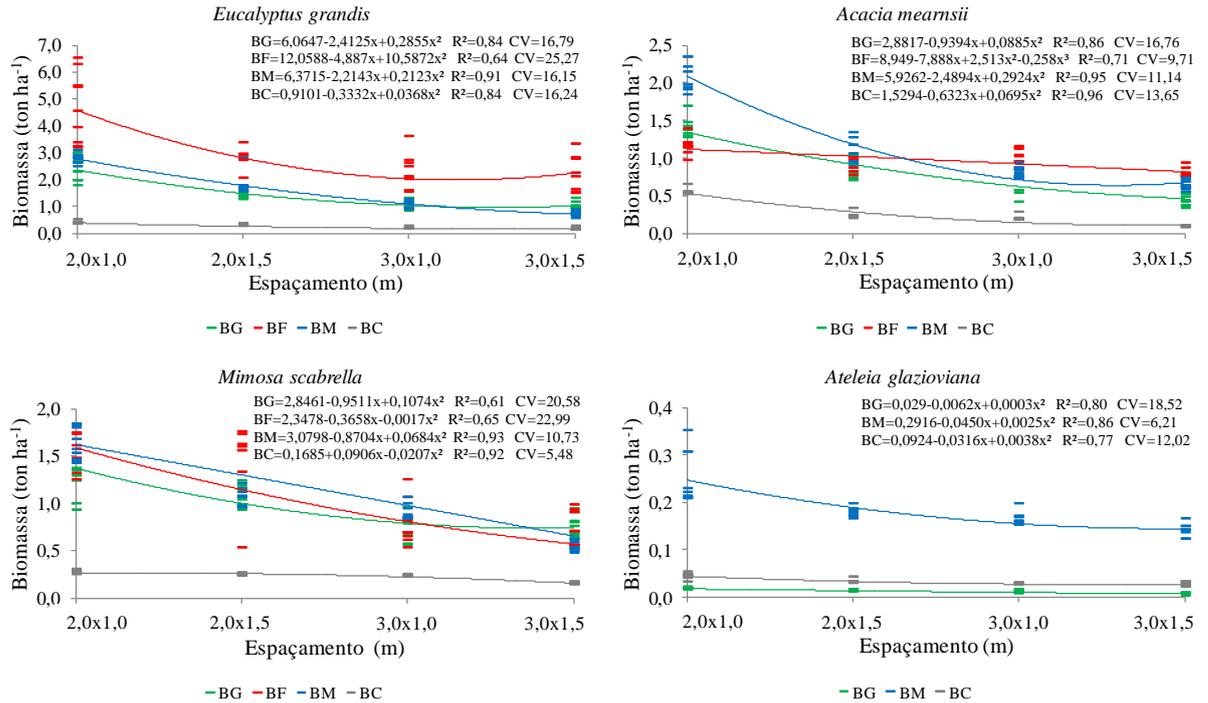


FIGURA 1 - Equações de regressão para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

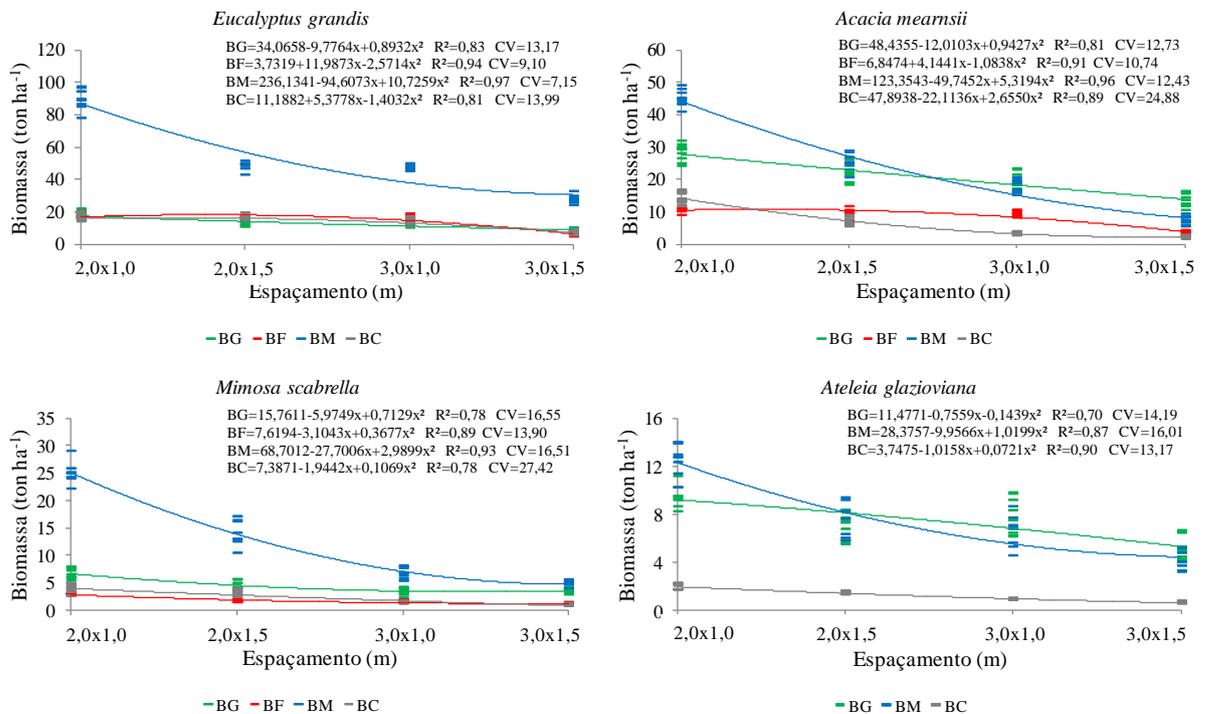


FIGURA 2 - Equações de regressão para a biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF), em ton ha⁻¹, das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

3.6 Conclusões

O aumento da densidade de plantio apresentou relação direta com a produção de biomassa por unidade de área nos diferentes anos de avaliação, ou seja, os espaçamentos mais adensados proporcionaram maiores quantidades de biomassa que os menos adensados.

A diferenciação entre as espécies ocorreu quanto à produção de biomassa, sendo que as de maior destaque foram *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. Já a espécie que apresentou a menor produção de biomassa foi *Ateleia glazioviana*. A produção de biomassa da parte aérea concentrou-se principalmente no tronco e nos galhos das árvores.

3.7 Referências bibliográficas

ASSIS, R. L. et al. A produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.

BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação de biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na Região Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

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

BRITO, J. B. **O uso energético da madeira**. Esalq/USP: Estudos Avançados 21, Piracicaba, p. 185-193. 2007.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039 p.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Florestas Energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para Energia**. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1, p. 93-108, 2008.

ELOY, E. et al. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p.101-126, 1997.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 – 78, 2001.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAES, N. F. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

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

LELES, P. S. S. **Crescimento alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011. 266 p.

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

MÜLLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Etamarandiba, MG.** 2005, 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R., Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** 2º Simpósio Latino Americano sobre Fixação de Carbono. Metodologias Curitiba, 2004. 205 p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba, Brasil: 2002. P. 119-140.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition.** Cary. 2003. 200 p.

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

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de Madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, p. 151-165, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa. Ed. UFV. 2006. 278 p.

4 CAPÍTULO III

PODER CALORÍFICO SUPERIOR E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

4.1 Resumo

Este trabalho teve como objetivo determinar o poder calorífico superior (PCS) dos diferentes compartimentos da biomassa da parte aérea e a massa específica básica ponderada ($\rho_{b\ pond}$) da madeira das espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos em plantio: 2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, nas idades de 1 e 3 anos. O estudo foi conduzido em um experimento localizado no município de Frederico Westphalen-RS, em delineamento experimental de blocos completos casualizados em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas. A determinação do PCS das árvores foi realizada a partir da ponderação dos valores obtidos em cada compartimento (madeira, casca, galho e folha). A determinação da $\rho_{b\ pond}$ foi realizada a partir da ponderação do volume total sem casca após a determinação em diferentes posições ao longo do tronco. O PCS de todas as espécies no primeiro ano após o plantio foi superior ao do terceiro ano, destacando-se a *Acacia mearnsii* com as maiores médias. A $\rho_{b\ pond}$ não apresentou uma tendência sistemática de aumento ou redução ao longo do tempo, sendo que as espécies *Acacia mearnsii* e *Ateleia glazioviana* apresentaram os maiores valores. Os diferentes espaçamentos de plantio não induziram à variação do PCS e da $\rho_{b\ pond}$ nas espécies estudadas, não sendo verificada uma tendência sistemática positiva ou negativa em relação ao espaço vital proporcionado.

Palavras-chave: Propriedade físicas, energia da biomassa, espaçamento de plantio.

CALORIFIC POWER AND BASIC DENSITY OF TREE SPECIES IN PLANTINGS SHORT ROTATION

4.2 Abstract

This study aimed to determine the calorific power (PCS) the various compartments of the aboveground biomass and basic density weighted (ρ_{b_pond}) wood forest species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill distributed in different spacing in planting: 2.0x1.0 m; 2.0x1.5 m; 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m, at ages of 1 and 3 years. The study was conducted in an experiment in the city of Frederico Westphalen-RS, in experimental design of randomized complete block design with three replications in a split plot. The determination of PCS tree was made from the weighting of the values obtained in each compartment (wood, bark, twig and leaf). The determination of ρ_{b_pond} was held from the weight of the total shelled after determining at different positions along the stem. The PCS of all species in the first year after planting was higher than the third year, highlighting the *Acacia mearnsii* with the highest averages. The ρ_{b_pond} had no systematic trend of increase or decrease over time, and the species *Acacia mearnsii* and *Ateleia glazioviana* showed the highest values. The different planting spacings did not induce the change in PCS and ρ_{b_pond} in the species studied and is not verified a systematic positive or negative trend in relation to the living space provided.

Keywords: Physical property, biomass energy, planting space.

4.3 Introdução

No cenário energético nacional a lenha ocupa posição importante, tratando-se de um recurso natural renovável que pode ter sua produção sustentável e não apresentar o caráter poluidor de outras fontes fósseis. Inegavelmente, a madeira apresenta um papel fundamental em termos de estratégias ligadas à produção e ao uso de energia, sendo evidente a retomada

do seu consumo para tal finalidade, atividade que vem crescendo continuamente ao longo da última década no Brasil.

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 70 com as crises do petróleo (MÜLLER, 2005). No Brasil, em 1940, aproximadamente 80% da energia consumida era proveniente da madeira. Em 1969, esse percentual se reduziu para 33,7% e em 2011 para 9,7% (BRASIL, 2012). Apesar desse decréscimo significativo da participação da madeira como fonte energética, em termos quantitativos o consumo não se alterou significativamente, evidenciando que existe um mercado cativo para a utilização de biomassa florestal como fonte de energia.

Em se tratando de materiais combustíveis, como é o caso da madeira como recurso dendroenergético, esse deve basear-se, entre outros, no conhecimento do seu potencial para produção de biomassa e do seu poder calorífico, sendo essa uma das características mais importantes. O poder calorífico da madeira consiste na quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa do material combustível (ÇENGEL; BOLES, 2006). No Sistema Internacional as unidades mais utilizadas para o poder calorífico são expressas em joules por grama ($J g^{-1}$) ou quilojoules por quilo ($kJ kg^{-1}$), mas pode ser expresso em calorias por grama ($cal g^{-1}$) ou quilocalorias por quilograma ($kcal kg^{-1}$), sendo a última a mais utilizada no Brasil para combustíveis sólidos (SILVA et al., 2011).

Existem duas maneiras de se expressar o poder calorífico de um combustível, sendo o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI). O PCS é aquele obtido na bomba calorimétrica a partir do combustível seco, em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada é condensada e o calor resultante, é recuperado. Já o PCI é aquele calculado a partir do PCS, sendo a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água, ou seja, considera o teor de umidade a que se encontra o material combustível. Em termos de pesquisa e comparação de combustíveis, o PCS é mais usual (CINTRA, 2009).

Na literatura, encontram-se trabalhos que envolvem a obtenção do PCS de diferentes espécies florestais, tanto nativas como exóticas. Quirino et al. (2005) ao revisarem na literatura sobre diferentes espécies florestais tropicais, encontraram valor médio de PCS igual a $4732 kcal kg^{-1}$, variando do limite inferior de $3350 kcal kg^{-1}$ ao limite superior de $5260 kcal kg^{-1}$. Esses mesmos autores relatam valores de PCS para a espécie *Mimosa scabrella* de $4589 kcal kg^{-1}$ a $4890 kcal kg^{-1}$ e para *Eucalyptus grandis* de $4501 kcal kg^{-1}$ a $4701 kcal kg^{-1}$, estando dentro da faixa encontrada por Vale et al. (2000) que verificaram para esta espécie valores médios de PCS de

4641 kcal kg⁻¹ e para *Acacia mangium* de 4619 kcal kg⁻¹. Baggio (2002) estudando a espécie *Ateleia glazioviana* observou um PCS de 4450 kcal kg⁻¹.

A massa específica básica (ρ_b) representa a concentração de massa por volume na madeira e influencia a velocidade da queima durante a produção direta de energia, assim como na densidade do carvão vegetal oriundo dessas madeiras, por isso é interessante que as madeiras apresentem ρ_b altas. Alguns autores assumem valores na faixa de 0,650 a 0,800 g cm⁻³ (VALE et al., 2002).

Dessa forma, estudo da ρ_b da madeira em diferentes espécies florestais torna-se de fundamental importância, por ser o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. Esse parâmetro tecnológico, além de ser muito utilizado, apresenta alta eficiência para expressar a qualidade da madeira, a fim de prognosticar sua variação em diferentes usos, nos diversos segmentos da atividade industrial, devido à íntima relação com várias outras propriedades e também por ser de fácil determinação (WASHUSEN et al., 2005).

As causas para variação na ρ_b podem ser atribuídas às diferentes condições ambientais e genéticas de cada árvore ou ainda em função de diferentes idades, condições ambientais e fatores genéticos. Essas influências podem comprometer o uso de espécies florestais, pois ocasionam modificações em seu desempenho durante o uso energético, assim como na qualidade de seus produtos, o que não é interessante quando se almeja altos desempenhos e produtos com qualidades padronizadas (TRUGILHO et al., 1996).

Quando se trata da comparação de características anatômicas da madeira, autores como Cunha et al. (1989) afirmam que não há correlação significativa entre o PCS e a ρ_b da madeira. No entanto, madeiras que apresentam maior ρ_b implicam numa maior concentração de massa por volume, o que é interessante durante aplicação energética desse material.

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como intuito a determinação do poder calorífico superior dos diferentes compartimentos da biomassa e a massa específica básica ponderada da madeira das espécies florestais *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos em plantio, no primeiro e terceiro ano após o plantio.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Caracterização da área em estudo

O trabalho foi realizado no experimento que está localizado em área pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO), vinculado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus do Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude, no município de Frederico Westphalen - RS.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa. A área experimental está distante de Irai à aproximadamente 30 km, sendo o município tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de Maluf (2000) Irai apresenta clima de tipo subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C.

O experimento foi instalado utilizando o delineamento de blocos completos casualizados. Os blocos foram caracterizados por um fatorial 4x4, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill) e quatro espaçamentos (2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m) em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, onde a parcela foi representada pelo espaçamento mais espécie e a subparcela pela idade de aferição dos dados. O bloco contempla 16 unidades experimentais, que apresentam 45 plantas cada, distribuídas em cinco linhas, sendo que as unidades experimentais estão divididas em quatro subparcelas, compostas por três plantas cada.

O solo predominante na área é do tipo Latossolo Vermelho distrófico típico e, no seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de aração e gradagem, sendo que o plantio foi feito de forma manual em setembro de 2008.

Neste trabalho foram utilizados os dados das avaliações destrutivas coletados no 1º ano (2009) e 3º ano (2011) após o plantio.

4.4.2 Determinação da massa específica básica ponderada ($\rho_{b\text{ pond}}$)

Foram selecionadas 144 árvores em cada ano de avaliação, que corresponde a 36 árvores por espécie. Para o estudo da ρ_b foram retirados discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições no tronco: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% e 75% da altura total da árvore. Os discos foram numerados de acordo com sua posição relativa no tronco e localização experimental. Em seguida, os mesmos foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Agroclimatologia UFSM / CESNORS, onde foram marcadas e seccionadas duas cunhas simetricamente opostas.

As cunhas de madeira foram submersas em água, onde permaneceram até atingirem a saturação. Para a obtenção da massa específica básica de cada cunha (ρ_b), em g cm^{-3} , determinou-se, o volume verde (V_u), em cm^3 , utilizando o método da balança hidrostática, descrito por Vital e Della Lucia (1987) e a massa seca (M_o), em g, que foi resultante das amostras que permaneceram em estufa a $103\text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante, utilizando a seguinte expressão:

$$\rho_b = M_o / V_u.$$

A ρ_b da madeira em cada posição relativa do tronco foi determinada pela média dos valores das duas cunhas. Em seguida, calculou-se a massa específica básica ponderada ($\rho_{b\text{ pond}}$) em função do volume total sem casca de cada árvore, em g cm^{-3} . Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de ρ_b obtida em cada posição relativa (ρ_{b_i}), em g cm^{-3} ; os volumes sem casca correspondentes entre duas posições sucessivas (v_1, v_2, \dots, v_i), em m^3 ; com o volume total sem casca da árvore (v_s), em m^3 , definido pelo método de Smalian (FINGER, 2002). Assim, a $\rho_{b\text{ pond}}$ foi definida pela seguinte expressão:

$$\rho_{b\text{ pond}} = (((\rho_{b0\%} + \rho_{b\text{DAP}})/2) v_1) + (((\rho_{b\text{DAP}} + \rho_{b25\%})/2) v_1) + (((\rho_{b_i} + \rho_{b_{i+1}})/2) v_i) / v_s.$$

4.4.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS)

Foram selecionadas 144 árvores em cada ano de avaliação, que corresponde a 36 árvores por espécie. Para a determinação do PCS das árvores foram retirados discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições no tronco: 0%

(base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total, totalizando seis discos por árvore, sendo posteriormente, separada a casca da madeira de cada disco.

As amostras de galhos e folhas foram coletadas de forma estratificada na planta, ou seja, no estrato inferior, médio e superior da copa das árvores, com a finalidade de obtenção de um material mais homogêneo que representasse toda a expansão da copa. Essas foram identificadas e levadas para secagem em estufa de circulação e renovação do ar para obtenção da matéria seca. As amostras de madeira, casca e galho foram secas a 103 °C, já as de folha, a 75 °C até peso constante. Posteriormente, foram moídas em moinho de facas, com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material mais fino e uniforme.

A determinação do PCS dos diferentes compartimentos (madeira, casca, galho e folha) das árvores foi realizada no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), utilizando bomba calorimétrica (C5000, IKA WORKS).

Em seguida, calculou-se o poder calorífico superior ponderado (PC_{pond}) em função da quantidade de biomassa de cada compartimento da árvore. Esse cálculo está baseado na ponderação dos valores de poder calorífico superior obtidos em cada compartimento (PC_{i^o}), em $kcal.kg^{-1}$; os pesos correspondentes a cada compartimento ($P_{Madeira}$, P_{Casca} , P_{Galho} e P_{Folha}), em kg; com o peso total da árvore (P_{Total}), em kg. Assim, o PC_{pond} foi definido pela seguinte expressão:

$$PC_{pond} = ((PC_{Madeira} * P_{Madeira}) + (PC_{Casca} * P_{Casca}) + (PC_{Galho} * P_{Galho}) + (PC_{Folha} * P_{Folha})) / P_{Total}.$$

4.4.4 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2003), em que se determinou a análise de variância e o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

4.5 Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferença para o PCS e para a ρ_b somente para a interação dos dois anos avaliados com as quatro espécies arbóreas estudadas, não sendo observada essa diferença para os quatro espaçamentos frente aos dois períodos, e para os quatro espaçamentos em relação às quatro espécies arbóreas estudadas (Tabela 1). Dessa forma, pode-se observar que as diferentes densidades de plantio (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m), não influenciaram significativamente, nas quatro espécies arbóreas (*Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*), tanto no primeiro ano, quanto no terceiro ano após o plantio.

Quando analisado o PCS das árvores tanto no primeiro ano quanto no terceiro ano de avaliação, observou-se que a *Acacia mearnsii* apresentou os maiores valores em todos os espaçamentos de plantio quando comparado com as outras espécies. Em contrapartida, a espécie *Ateleia glazioviana* apresentou as menores médias de PCS no primeiro ano após o plantio. Já para o *Eucalyptus grandis* foi observada essa característica no terceiro ano (Tabela 2).

Pode-se observar, de uma maneira geral, que os PCS de todas as espécies distribuídas nos diferentes espaçamentos no primeiro ano, foram superiores aos do terceiro ano (Tabela 2). Essa propriedade, observada na Tabela 2, apresentou valores para a espécie *Eucalyptus grandis* que variaram de 4241 a 4653 kcal kg⁻¹, para *Mimosa scabrella* de 4349 a 4679 kcal kg⁻¹, para *Acacia mearnsii* de 4442 a 4828 kcal kg⁻¹ e para *Ateleia glazioviana* que variaram de 4440 a 4586 kcal kg⁻¹.

TABELA 1 - Análise de variância para o poder calorífico superior (PCS) e da massa específica básica (ρ_b) da madeira das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, em diferentes anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Efeito Principal				
Fator de Estudo		GL	Quadrado Médio	
			PCS	ρ_b
Espécie		3	223042*	0,0598*
Espaçamento		3	7908 ^{ns}	0,0018 ^{ns}
Espécie x espaçamento		9	4672 ^{ns}	0,0009 ^{ns}
* Significativo à probabilidade de erro tipo A				
Ano		1	1205568*	0,0211*
Ano x espécie		3	51823*	0,0182*
Ano x espaçamento		3	7272 ^{ns}	0,0011 ^{ns}
Ano x espécie x espaçamento		9	4989 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
* Significativo à probabilidade de erro tipo B				
Coeficiente de determinação			0,86	0,61
Coeficiente de variação (%)			1,7	7,0
Efeito Simples				
Ano x espécie				
Ano	1	3	146548*	0,0063*
	3	3	128318*	0,0701*
Espécie	<i>A. mearnsii</i>	1	375500*	0,0083*
	<i>M. scabrella</i>	1	416172*	0,0002 ^{ns}
	<i>E. grandis</i>	1	523272*	0,0045*
	<i>A. glazioviana</i>	1	46095*	0,0599*

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher.

TABELA 2 - Poder calorífico superior (PCS), em kcal kg⁻¹, das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, em diferentes anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0x1,0	2,0x1,5	3,0x1,0	3,0x1,5
Ano 1				
<i>A. mearnsii</i>	4726 a ¹	4788 a	4792 a	4828 a
<i>M. scabrella</i>	4647 ab	4658 b	4631 b	4679 b
<i>E. grandis</i>	4531 c	4600 bc	4539 bc	4653 b
<i>A. glazioviana</i>	4586 bc	4533 c	4476 c	4520 c
Ano 3				
<i>A. mearnsii</i>	4558 a	4442 a	4560 a	4577 a
<i>M. scabrella</i>	4372 b	4349 ab	4406 b	4435 b
<i>E. grandis</i>	4338 b	4289 b	4241 c	4273 c
<i>A. glazioviana</i>	4448 ab	4441 a	4440 ab	4436 b

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey.

Ao avaliarem valores de PCS em diferentes níveis de adubação para *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, Vale et al. (2000) verificaram que para o eucalipto e acácia-negra os valores de PCS foram em média 4641 kcal kg⁻¹ e 4619 kcal kg⁻¹, respectivamente. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Howard (1973), que observaram um PCS para folhosas varia na faixa de 4600 a 4800 kcal kg⁻¹.

A partir da análise o PCS para as espécies em estudo, verificou-se que estão de acordo com os relatados na literatura. Jara (1989) relata valores de 4550 kcal kg⁻¹ para *Acacia decurrens* (acácia-negra), aos cinco anos de idade e 4790 kcal kg⁻¹ para o *Eucalyptus grandis* aos dez anos de idade. Já Pereira et al. (2000), estudando várias espécies de eucalipto, observaram valores que variaram de 5080 kcal kg⁻¹ para *Eucalyptus camaldulensis* a 4340 kcal kg⁻¹ para *Eucalyptus grandis*.

Quando analisada a $\rho_{b \text{ pond}}$ das árvores tanto no primeiro ano quanto no terceiro ano após o plantio, observou-se que não ocorreu uma variação sistemática de aumento ou redução ao longo do tempo. A *Ateleia glazioviana* apresentou os maiores valores, quando comparado com as outras espécies. Em contrapartida, o *Eucalyptus grandis* apresentou as menores médias de $\rho_{b \text{ pond}}$ no primeiro e terceiro ano após o plantio (Tabela 3).

TABELA 3 - Massa específica básica da madeira, em g cm^{-3} , das espécies arbóreas distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0x1,0	2,0x1,5	3,0x1,0	3,0x1,5
Ano 1				
<i>A. mearnsii</i>	0,415 a ¹	0,402 a	0,406 b	0,405 a
<i>M. scabrella</i>	0,388 b	0,409 ab	0,405 b	0,406 a
<i>E. grandis</i>	0,382 b	0,387 b	0,390 b	0,391 a
<i>A. glazioviana</i>	0,417 a	0,423 a	0,440 a	0,399 a
Ano 3				
<i>A. mearnsii</i>	0,447 ab	0,414 b	0,414 a	0,436 ab
<i>M. scabrella</i>	0,405 b	0,396 b	0,407 b	0,411 b
<i>E. grandis</i>	0,367 c	0,371 c	0,365 c	0,384 b
<i>A. glazioviana</i>	0,472 a	0,468 a	0,489 a	0,486 a

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey.

Os resultados de $\rho_{b \text{ pond}}$ apresentados na Tabela 3, estão no intervalo que Quirino et al. (2005) relataram para 108 espécies florestais, variando de 0,200 a 1,080 g cm^{-3} . Esses também corroboram com os observados por Vital; Della Lucia (1987), que não encontraram efeito significativo do espaçamento na ρ_b da madeira.

No entanto, são divergentes dos encontrados por Roque; Ledzema (2003), que verificaram um aumento da ρ_b com o aumento do espaçamento. Em contrapartida, Garcia et al. (1991) relataram uma diminuição da ρ_b da madeira com o aumento do espaçamento. Para Goulart et al. (2003), essas divergências de resultados podem ser decorrentes de diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos originados de sementes.

As $\rho_{b \text{ pond}}$ observadas apresentaram valores para a espécie *Eucalyptus grandis* que variaram de 0,365 a 0,391 g cm^{-3} , para *Mimosa scabrella* de 0,388 a 0,411 g cm^{-3} , para *Acacia mearnsii* de 0,402 a 0,447 g cm^{-3} e para *Ateleia glazioviana* de 0,399 a 0,489 g cm^{-3} (Tabela 3).

Pode-se observar que houve variação na $\rho_{b \text{ pond}}$ entre árvores de mesma espécie, sendo que as maiores amplitudes foram encontradas nas espécies *Acacia mearnsii* e *Ateleia glazioviana*. Para Trugilho et al. (1996) as causas para esta característica na ρ_b podem ser atribuídas às diferentes condições ambientais e genéticas de cada árvore ou ainda em função de diferentes idades. Como as espécies estudadas estavam submetidas à condições ambientais

e idades iguais, o fator genético deve ser a possível causa dessa variação. Para Alzate et al. (2005), esses fatores são os principais causadores da variabilidade da ρ_b em espécies arbóreas.

Alguns trabalhos na literatura relataram a ρ_b de diferentes espécies florestais. Jesus; Vital (1986) e Lopes (2003), estudando árvores de *Eucalyptus grandis* com 7, 8 e 27 anos de idade, respectivamente, evidenciaram que a média para essa característica tecnológica foi igual a $0,460 \text{ g cm}^{-3}$. Já Alzate et al. (2005), trabalhando com a mesma espécie aos 3,5 anos de idade, concluem que a média foi de $0,440 \text{ g cm}^{-3}$. Trevisan et al. (2012) estudando a influência do desbaste em árvores centrais de *Eucalyptus grandis* com idades de 4 a 18 anos, encontrou uma variação dos valores médios de ρ_b de $0,390$ a $0,462 \text{ g cm}^{-3}$, confirmando a existência de variabilidade dentro da espécie.

Na literatura, são encontradas espécies consideradas de rápido crescimento que apresentam baixas ρ_b , observando-se valores inferiores a $0,500 \text{ g cm}^{-3}$, como é o caso de *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Inga uruguensis* (Ingá) e *Peltophorum dubium* (Canafístula) (CINTRA, 2009). Para o mesmo autor, outras espécies também consideradas de rápido crescimento apresentam ρ_b moderadamente altas, como é o caso das espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro) e *Croton floribundus* (Capinxigui).

Em estudos realizados por Pauleski (2010), com árvores do extrato médio e dominantes de *Pinus taeda*, observou que a medida que os espaçamentos nas entre linhas aumentavam, a ρ_b apresentava a mesma variação. Chies (2005) estudando *Pinus taeda*, observou que a massa específica básica apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre árvores, sendo que os valores variaram entre $0,434$ a $0,414 \text{ g cm}^{-3}$. Em contrapartida, Castelo (2007) concorda que a massa específica básica decresce com o aumento do espaçamento. Já Montagna et al. (1980) descartam a influência da densidade de plantio na massa específica básica, em seus estudos com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 17 anos de idade, plantados em três diferentes espaçamentos, destacando que a massa específica básica não variou com os espaçamentos adotados.

Da mesma forma, Brito; Barrichello (1980) relataram que madeiras que apresentam ρ_b maior produzem carvão vegetal mais denso e madeiras mais leves resultam em carvões mais leves e porosos. Segundo Vale et al. (2002) ao se utilizar de madeira com baixa ρ_b para a produção direta de calor, haverá uma queima rápida e uma menor produção de energia por unidade de volume, ao contrário do que ocorre com madeiras com maiores ρ_b , porém essas apresentam maiores dificuldades para início da queima. Os mesmos autores sugerem a faixa

intermediária entre madeiras médias e duras, variando a ρ_b de 0,650 a 0,800 g cm⁻³ para utilização da madeira na forma de lenha, com o intuito de facilitar o início da queima.

Com relação a um produto energético em específico, o carvão vegetal, a ρ_b da madeira se correlaciona positivamente com a densidade do mesmo, ou seja, quanto mais densa for a madeira mais denso será o carvão vegetal (BRITO; BARRICHELO, 1980). Para Andrade; Carvalho (1998) um elevado gradiente de densidade existente entre as regiões da casca e da medula de árvores de maior diâmetro proporcionam uma maior presença de fissuras e trincas no material produzido. Dessa forma, estes autores indicaram o uso de árvores de menor diâmetro para uma melhor qualidade de carvão vegetal.

Na literatura observa-se certa divergência em relação ao diâmetro ou as dimensões das árvores e a ρ_b do lenho. Souza et al. (1979), relacionando os valores dessa propriedade e o diâmetro do tronco de *Eucalyptus microcory*, com 8 anos de idade, relataram que, nas menos vigorosas com diâmetro a altura do peito (DAP) inferior a 10 cm, a média para essa característica foi significativamente inferior (0,570 g cm⁻³) em relação às dominantes com DAP superior a 15 cm (0,610 g cm⁻³). Em contrapartida, Migliorini et al. (1988) relatam que as árvores com menores diâmetros apresentam maior ρ_b da madeira. Já para Hillis (1968), a ρ_b do lenho não é influenciada ou é fracamente correlacionada com o nível de crescimento.

4.6 Conclusões

Os PCS de todas as espécies no primeiro ano após o plantio são superiores aos do terceiro ano, destacando-se a *Acacia mearnsii* com as maiores médias nos períodos estudados.

A $\rho_{b\text{ pond}}$ da madeira não apresenta uma variação sistemática de aumento ou redução ao longo do tempo, sendo que as espécies *Acacia mearnsii* e *Ateleia glazioviana* apresentam os maiores valores dessa propriedade.

Os diferentes espaçamentos de plantio não induzem à variação do PCS e da $\rho_{b\text{ pond}}$ nas espécies estudadas, não sendo verificada uma variação sistemática em relação ao espaço vital proporcionado.

4.7 Referências Bibliográficas

ALZATE, S. B. A. et al. 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, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, 1998.

BAGGIO, A. J. **Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde**. EMBRAPA Florestas: Circular Técnica 68, p. 1-8, 2002.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2012: ano base 2011: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro, 2012. 43 p.

BRITO J. O.; BARRICHELO L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, n. 20, p.121-126, 1980.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007, 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5.ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740p.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

CUNHA, M.P.S.C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. **Anais...** São Carlos, 1989. v. 2, p. 93-121.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal** / Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, p. 269. 2002.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, p. 1-8, 1991. (Circular Técnica, 179).

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

HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Wood Science and Technology**, Madison, v. 2, n. 4, p. 241-259, 1968.

HOWARD, A. M. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, London, v. 5, n. 3, p. 194-197, 1973.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JESUS, R. M.; VITAL, B. R. Comparação entre densidades de matrizes e de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 82-90, 1986.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MIGLIORINI, A. J. et al. Variação da densidade básica da madeira de *E. grandis* em função de diferentes níveis da floresta. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 21., 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1988. 12 p.

MONTAGNA, R. G. et al. Peso de matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribea* Mor. var. hondurensis Bar. Et Golf. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 13/14: 23-32, 1980.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Etamarandiba, MG.** 2005, 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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

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

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

ROQUE, R. M.; LEDZEMA, R. M. Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. **Madera y Bosques**, Heredia, v. 9, n. 2, p. 15- 27, 2003.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition.** Cary. 2003. 200 p.

SILVA, J. V. H. et al. Diagnóstico do reaproveitamento de resíduos com potencial energético no município de Palmas-TO. **Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 226-233, 2011.

SOUZA, A. P. et al. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* cultivado na região de Dionísio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, 1979.

TREVISAN, R. et al. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012.

TRUGILHO, P. F. et al. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T. et al. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

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

WASHUSEN, R. et al. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.

5 CAPÍTULO IV

PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO

5.1 Resumo

Esse trabalho teve como objetivo determinar a produtividade energética dos diferentes compartimentos da biomassa da parte aérea das espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos em plantio: 2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, nas idades de 1 e 3 anos. O estudo foi conduzido em um experimento localizado no município de Frederico Westphalen-RS, em delineamento experimental de blocos completos casualizados em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas. A determinação da produtividade energética foi realizada a partir da mensuração dos valores de biomassa da parte aérea e do poder calorífico superior de cada compartimento. Os diferentes espaçamentos de plantio induzem a diferentes produtividades energéticas, sendo verificada uma tendência sistemática negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelos menores espaçamentos de plantio, influenciados pelo maior número de árvores presentes em cada espaçamento. As produtividades energéticas obtidas no terceiro ano, para todas as espécies, são superiores as do primeiro ano. A espécie *Eucalyptus grandis* apresenta a maior potencialidade de produtividade energética de madeira em relação às outras espécies, equivalente a duas vezes a *Acacia mearnsii*, no espaçamento mais adensado (2,0x1,0 m).

Palavras-chave: Poder calorífico superior, energia da biomassa, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella*, *Ateleia glazioviana*.

ENERGY PRODUCTIVITY OF FOREST SPECIES IN SHORT ROTATION PLANTINGS

5.2 Abstract

This study aimed to determine the energy productivity of the different compartments of aboveground biomass of forest species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill distributed in different spacing in planting: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m, at ages of 1 and 3 years. The study was conducted in an experiment in the city of Frederico Westphalen-RS, in experimental design of randomized complete block with three replications in a split plot. The determination of the energy productivity was carried out measurement of values of aboveground biomass and power calorific value of each compartment. The different planting spacings induced different yields of biomass energy, and we found a systematic negative trend in relation to the living space provided by lower planting space, influenced by the higher number of trees in each spacing. The energy productivity achieved in the third year for all species, were higher than those of the first year. The species *Eucalyptus grandis* presented the greatest potential for energy productivity of wood and for the other species, equivalent to twice the *Acacia mearnsii*, the denser spacing (2.0x1.0 m).

Keywords: Power calorific value, biomass energy, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella*, *Ateleia glazioviana*.

5.3 Introdução

O desenvolvimento da humanidade está intimamente associado ao aumento do consumo energético e ao uso racional e controlado das diversas fontes de energia. A lenha sempre ofereceu histórica contribuição no desenvolvimento, sendo a primeira fonte de energia, utilizada para aquecimento e cocção de alimentos. Com o passar dos tempos, esse material tem sido amplamente utilizado e é, sem dúvida, a alternativa que mais contempla a

vocação natural do Brasil, empregada em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (SOARES et al., 2006).

Atualmente, com a crescente demanda por fontes renováveis de energia, estudos a respeito do potencial de geração a partir da biomassa florestal têm sido realizados no Brasil e no mundo, relatando o potencial da biomassa, para geração de energia limpa. Entretanto, para aumentar a eficiência de conversão de madeira em energia é necessária a adoção de tecnologias mais apropriadas para avaliar o seu verdadeiro potencial na carbonização, obtenção de calor e cogeração de energia (MOREIRA, 2011); tornando, dessa forma, promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia.

Os recursos dendroenergéticos são produtos obtidos de forma direta e indiretamente da madeira, onde se enquadram resíduos de exploração e industriais, bem como a madeira propriamente dita, que podem atuar como materiais combustíveis com fins energéticos, na produção de energia térmica e/ou elétrica (NOGUEIRA et al., 2000). Em se tratando desses materiais, os mesmos devem basear-se no conhecimento do seu potencial para produção de biomassa e do seu poder calorífico, sendo essa uma das características mais importantes. Assim, o poder calorífico da madeira consiste na quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa do material combustível (ÇENGEL, 2006).

A escolha de espécies tanto nativas quanto exóticas é de extrema importância para seu aproveitamento como fonte alternativa de energia. No entanto, para que isso se viabilize, torna-se necessário o conhecimento das suas características essenciais para essa utilização, no que diz respeito aos fatores ecológicos, silviculturais e aqueles relacionados ao potencial energético das madeiras, subsidiando desse modo, à tomada de decisão para a execução dos plantios florestais (MOREIRA, 2011).

Para o mesmo autor, embora a utilização de madeira para fins energéticos seja elevada, existem poucos estudos que descrevam as características importantes do desempenho das espécies arbóreas para tal fim, ainda mais quando comparado com a diversidade de espécies com propriedades energéticas. Esses estudos se restringem ainda mais quando se diz respeito a florestas plantadas.

Dessa forma, torna-se essencial a existência de experimentos florestais estabelecidos em que se conheçam as condições originais de terreno, de plantio e das idades das árvores, para que se permita a obtenção de novas informações referentes à qualificação de espécies

destinadas à geração de energia e, por extensão, com vocação de formação de maciços florestais destinados à produção de material dendroenergético.

Para que o Brasil possa aumentar a participação da lenha e produtos da madeira na sua matriz energética, são necessárias melhorias no acesso a tecnologia florestal para pequenos e médios produtores, tanto de silvicultura como de conversão da madeira em energia, aumentando o potencial de geração de energia de plantios futuros. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como intuito determinar a produtividade energética da biomassa das espécies florestais *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill distribuídas em diferentes espaçamentos de plantio.

5.4 Material e Métodos

5.4.1 Caracterização da área em estudo

O trabalho foi realizado no experimento localizado em área pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO), vinculado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus do Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude, no município de Frederico Westphalen - RS.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa. O experimento está distante de Irai à aproximadamente 30 km, sendo o município tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de Maluf (2000) Irai apresenta clima de tipo subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C.

O experimento foi instalado utilizando o delineamento experimental de blocos completos casualizados. Os blocos foram caracterizados por um fatorial 4x4, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill) e quatro espaçamentos (2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m) em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, onde a

parcela é representada pelo espaçamento mais espécie e a subparcela pela idade de aferição dos dados. O bloco contempla 16 unidades experimentais, sendo que cada uma possui 45 plantas distribuídas em cinco linhas. As unidades experimentais foram divididas em quatro subparcelas, sendo cada, composta por três plantas.

O solo predominante na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho distrófico típico e, no seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de aração e gradagem. O plantio foi feito de forma manual em setembro de 2008.

Neste trabalho foram utilizados os dados das avaliações destrutivas coletados no 1º ano (2009) e 3º ano (2011) após o plantio.

5.4.2 Determinação da biomassa

Para determinação da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG) e biomassa da folha (BF) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, em diferentes anos após o plantio, utilizou-se o método direto o qual consistiu na derrubada e pesagem dos compartimentos das árvores, conforme Sanquetta (2002). As massas frescas totais das árvores amostradas foram determinadas a campo.

De cada compartimento foram retiradas amostras para aferição de sua massa fresca e seca em laboratório. As amostras foram pesadas, identificadas e levadas para secagem em estufa com circulação e renovação de ar. As folhas foram secas a 75 °C, sendo que os galhos e a madeira secos a 103 °C, até atingirem peso constante.

Para a amostra de madeira do fuste e casca foram retirados cinco discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura ao longo do fuste: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total. O peso de matéria seca da parte aérea, em toneladas por hectare, foi calculado considerando a densidade populacional de cada espaçamento, admitindo-se uma sobrevivência igual a 100%.

Para a espécie *Ateleia glazioviana*, a determinação da biomassa de folha não foi computada, devido à senescência ter iniciado antecipadamente ao período em que foram realizadas as avaliações.

5.4.3 Determinação do poder calorífico superior (PCS)

Foram selecionadas 144 árvores em cada ano de avaliação, que corresponde a 36 árvores por espécie. Para a determinação do PCS das árvores, foram retirados discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições no tronco: 0% (base), 1,30 m do solo (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% e 75%, 100% da altura total, totalizando seis discos por árvore, sendo posteriormente, removida a casca de cada disco.

As amostras de galhos e folhas foram retiradas das plantas de forma estratificada, ou seja, no estrato inferior, médio e superior da copa das árvores, com a finalidade de obtenção de um material mais homogêneo que representasse toda a expansão da copa. Essas foram identificadas e levadas para secagem em estufa de circulação e renovação do ar para obtenção da matéria seca. As amostras de madeira, casca e galho foram secas a 103 °C, já as de folha, a 75 °C até atingirem peso constante. Posteriormente, foram moídas em moinho de facas, com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material mais fino e uniforme.

A determinação do PCS dos diferentes compartimentos (madeira, casca, galho e folha) das árvores foi realizada no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), utilizando bomba calorimétrica (C5000, IKA WORKS).

5.4.4 Determinação da produtividade energética (PE)

A produtividade energética (PE), em Gcal ha⁻¹, ou seja, a quantidade de energia por hectare foi obtida em função da biomassa seca (BS) correspondente de cada compartimento (madeira, casca, galho e folha), em ton ha⁻¹, com o respectivo poder calorífico superior (PCS), em kcal kg⁻¹, conforme a seguinte expressão:

$$PE=BS * PCS$$

5.4.5 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS, 2003), em que se determinou a análise de variância, análise de regressão, teste F e o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.5 Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferença significativa para a produtividade energética em todas as variáveis para todos os fatores avaliados, ou seja, para ano, espécie e espaçamento. Observou-se também esta característica para todas as interações analisadas, ou seja, para os dois anos estudados em relação às quatro espécies florestais, para os dois anos nos quatro espaçamentos de plantio, para as quatro espécies florestais nos quatro espaçamentos de plantio e, para os dois anos frente às quatro espécies florestais dispostas nos quatro espaçamentos de plantio (Tabela 1).

TABELA 1 - Análise de variância para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT) das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro e terceiro ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Fator de Estudo		Efeito Principal					
		GL	Quadrado Médio				
			BM	BC	BG	BF	BT
Espécie		3	140749,8*	7289,9*	19630,3*	20357,7*	486078,7*
Espaçamento		3	67674,2*	2724,8*	4995,3*	4033,1*	184686,8*
Espécie x espaçamento		9	8937,8*	663,5*	609,9*	764,9*	23447,8*
* Significativo à probabilidade de erro tipo A							
Ano		1	711587,7*	37408,6*	160260,7*	53868,8*	2684016,6*
Ano x espécie		3	127098,5*	6917,9*	18089,5*	12107,1*	380193,2*
Ano x espaçamento		3	57825,6*	2395,7*	3502,1*	2615,3*	144100,0*
Ano x espécie x espaçamento		9	7814,6*	589,6*	482,1*	716,8*	18436,2*
* Significativo à probabilidade de erro tipo B							
Coeficiente de determinação			0,98	0,97	0,98	0,98	0,98
Coeficiente de variação (%)			15,8	25,8	19,9	16,2	10,4
		Efeito Simples					
		Ano x espaçamento x espécie					
Ano	1	15	105,8 ^{ns}	3,8 ^{ns}	73,8*	246,1*	1308,6*
	3	15	88630*	4614,4*	9826,3*	8280,1*	262879*
Espaçamento (m)	2,0 x 1,0	7	163838*	7038,9*	19000*	9097,4*	469483*
	2,0 x 1,5	7	46662*	3538,8*	9727,9*	7940,8*	186724*
	3,0 x 1,0	7	38082*	2855,2*	9135,9*	9258,1*	168001*
	3,0 x 1,5	7	14179*	637,4*	4098,9*	807,7*	46054*
Espécie	<i>A. mearnsii</i>	7	41675*	4774,7*	23818*	4885,2*	236381*
	<i>M. scabrella</i>	7	12396*	336,3*	792,4*	95,4*	27134*
	<i>E. grandis</i>	7	173669*	6894*	8015,2*	10295*	461901*
	<i>A. glazioviana</i>	7	3726,2*	110,4*	3068,4*	-	15758*

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

A partir da análise da influência do ano sobre as espécies distribuídas nos diferentes espaçamentos, observou-se diferença no terceiro ano de experimento para todas as variáveis estudadas, ou seja, para BM, BC, BG, BF e BT. Já no primeiro ano, essa característica apresentou a mesma resposta em relação às variáveis no terceiro ano, com exceção para BM e BC que não apresentaram diferença para as quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos de plantio (Tabela 1).

Quando analisada a produtividade energética no primeiro ano após o plantio, a espécie *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores valores para BG, BF e BT, sendo que, para BG a mesma não diferiu da *Acacia mearnsii* e *Mimosa scabrella*, assim como, para a BT não houve diferença para os espaçamentos menos adensados destas mesmas espécies. Em contrapartida, os menores valores de BG e BT foram observados para a *Ateleia glazioviana*, sendo que, para a variável BF a mesma não diferiu das espécies *Acacia mearnsii* e *Mimosa scabrella* (Tabela 2 e Figura 1).

Quanto à produtividade energética no terceiro ano após o plantio, a espécie *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores valores para BM, BC, BF e BT para todos os espaçamentos, com exceção da BC da espécie *Acacia mearnsii* no espaçamento mais adensado (2,0x1,0 m). Essa espécie também apresentou os maiores valores de BG em todos os espaçamentos de plantio. Em contrapartida, os menores valores de BG e BF foram observados para a *Mimosa scabrella*, e os menores valores de BM, BT e BC foram verificados na *Ateleia glazioviana*, sendo que a variável BC não diferiu da *Mimosa scabrella* (Tabela 3 e Figura 2).

Observou-se na Tabela 3, que os espaçamentos de plantio, conduziram a diferentes valores de produtividades energéticas da biomassa nos diferentes compartimentos da parte aérea das plantas no terceiro ano após o plantio, sendo verificada uma tendência sistemática negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelos espaçamentos, influenciado principalmente pelo maior número de árvores presentes em cada espaçamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Garcia et al. (2011) trabalhando com clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 1,5 anos em Botucatu-SP, em que, observaram diferentes produções energéticas em relação ao espaçamento de plantio, ou seja, para 2,8x0,5 m; 2,8x1,0 m; 2,8x1,5 m, 2,8x2,0 m e 2,8x2,5 m encontrando os valores de produtividade energética de 316,52; 227,37; 195,07; 167,82; 130,72 Gcal ha⁻¹, respectivamente. Onde pode-se destacar, que a maior produtividade energética foi obtida no espaçamento mais adensado.

TABELA 2 - Produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0x1,0	2,0x1,5	3,0x1,0	3,0x1,5
BM ^{ns}				
<i>A. mearnsii</i>	9,672 ¹	4,984	3,621	2,886
<i>M. scabrella</i>	7,300	4,780	4,104	2,448
<i>E. grandis</i>	12,498	8,241	4,678	3,111
<i>A. glazioviana</i>	1,173	0,801	0,738	0,631
BC ^{ns}				
<i>A. mearnsii</i>	2,679	1,128	0,935	0,422
<i>M. scabrella</i>	1,201	1,117	1,068	0,694
<i>E. grandis</i>	1,473	1,000	0,689	0,623
<i>A. glazioviana</i>	0,205	0,149	0,126	0,127
BG				
<i>A. mearnsii</i>	6,146 a	4,110 a	2,997 a	2,117 a
<i>M. scabrella</i>	6,158 a	4,851 a	3,350 a	3,505 a
<i>E. grandis</i>	10,383 a	6,327 a	4,822 a	4,326 a
<i>A. glazioviana</i>	0,079 b	0,063 b	0,046 b	0,028 b
BF				
<i>A. mearnsii</i>	5,956 b	4,699 b	5,338 b	4,047 b
<i>M. scabrella</i>	7,514 b	7,206 b	3,796 b	3,565 b
<i>E. grandis</i>	21,845 a	12,164 a	10,849 a	10,833 a
<i>A. glazioviana</i>	-	-	-	-
BT				
<i>A. mearnsii</i>	24,454 b	14,921 b	12,892 a	9,473 a
<i>M. scabrella</i>	22,183 b	17,955 ab	12,318 a	10,212 a
<i>E. grandis</i>	46,199 a	27,733 a	21,038 a	18,893 a
<i>A. glazioviana</i>	1,457 c	1,012 c	0,910 b	0,787 b

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; - = não avaliado.

TABELA 3 - Produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha⁻¹, das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Espaçamento (m)			
	2,0x1,0	2,0x1,5	3,0x1,0	3,0x1,5
BM				
<i>A. mearnsii</i>	192,694 b ¹	105,643 b	75,762 b	31,134 b
<i>M. scabrella</i>	107,467 c	61,454 c	28,486 c	21,304 c
<i>E. grandis</i>	387,658 a	206,678 a	190,748 a	119,116 a
<i>A. glazioviana</i>	55,772 d	31,225 d	29,099 c	18,052 c
BC				
<i>A. mearnsii</i>	67,315 a	29,231 b	15,149 b	9,952 b
<i>M. scabrella</i>	16,364 c	13,266 c	5,809 c	3,812 c
<i>E. grandis</i>	61,460 b	56,144 a	52,351 a	24,613 a
<i>A. glazioviana</i>	9,209 c	6,752 c	3,926 c	2,983 c
BG				
<i>A. mearnsii</i>	130,325 a	95,783 a	86,517 a	61,274 a
<i>M. scabrella</i>	29,071 d	20,468 d	14,992 d	15,584 d
<i>E. grandis</i>	81,917 b	51,497 b	58,779 b	35,848 b
<i>A. glazioviana</i>	42,622 c	32,001 c	35,154 c	22,341 c
BF				
<i>A. mearnsii</i>	57,015 b	48,487 b	49,346 b	19,140 b
<i>M. scabrella</i>	13,974 c	7,161 c	7,335 c	5,197 c
<i>E. grandis</i>	84,233 a	76,524 a	81,690 a	26,723 a
<i>A. glazioviana</i>	-	-	-	-
BT				
<i>A. mearnsii</i>	447,349 b	279,144 b	226,775 b	121,501 b
<i>M. scabrella</i>	166,887 c	102,349 c	56,622 d	45,897 c
<i>E. grandis</i>	615,269 a	390,844 a	383,568 a	206,299 a
<i>A. glazioviana</i>	107,604 d	69,978 d	68,179 c	43,376 c

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; - = Não avaliado.

Da mesma forma Santana (2009), estudando as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em Bom Sucesso-MG, com povoamentos de 34 e 38 meses de idade dispostos no espaçamento 3,0x2,8 m, observou valores de produtividade energética de 198,31 e 363,44 Gcal ha⁻¹, respectivamente. Já em São Bento Abade-MG, em povoamentos com 61 e 74 meses de idade, nos espaçamentos 3,0x3,0 m e 3,0x2,0 m, o mesmo autor, trabalhando

com as mesmas espécies, relata valores de produtividade energética de 520,76 e 623,15 Gcal ha⁻¹, respectivamente. E de forma similar, em Santo Antônio do Amparo-MG, em um povoamento com 86 meses de idade, no espaçamento 3,0x2,5 m, Santana (2009) relata o valor médio de produtividade energética de 594,99 Gcal ha⁻¹.

No mesmo sentido, Brito; Barrichello (1980) apresentaram valores de produção energética de 0,3 a 2,5 Gcal árvore⁻¹, para nove espécies de eucaliptos aos dez anos de idade. Os mesmos autores obtiveram valores entre 662 a 1259 Gcal ha⁻¹ para a produtividade energética de seis espécies de eucaliptos, aos três anos de idade, estando no limite superior e inferior o *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora*, respectivamente.

Da mesma forma Cintra (2009) trabalhando com o potencial energético de 12 espécies florestais nativas na região de Assis-SP, com idades de 6 a 8 anos, em espaçamento 3,0x2,0 m, não encontrou diferença entre os valores de produção energética, que variaram de 0,04 a 0,61 Gcal árvore⁻¹, sendo que a produtividade energética foi de 67,4 a 1021,2 Gcal ha⁻¹ e o incremento energético médio anual variou de 11,2 a 127,7 Gcal ha⁻¹ ano⁻¹.

A partir da análise das equações de regressão da produtividade energética da biomassa aérea para o primeiro ano (Figura 1) e terceiro ano (Figura 2) após o plantio, observou-se uma relação direta do espaçamento com a distribuição da quantidade de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas, ou seja, para BM, BC, BG, BF e BT nas quatro espécies florestais estudadas.

A análise da produtividade energética por unidade de área permite uma melhor visualização do potencial energético da cultura. Dessa forma, Lima et al. (2011) em seus trabalhos no município de Guarapuava-PR, com a espécie *Eucalyptus benthamii* disposta no espaçamento 3,0x2,0 m, relata uma produtividade energética estimada de 1940 Gcal ha⁻¹ aos seis anos. Já Brito et al. (1983) estimando o potencial energético de oito espécies de eucalipto, observaram uma produtividade energética que variou de 300 Gcal ha⁻¹ para o *Eucalyptus gummifera* até 2.500 Gcal ha⁻¹ para o *Eucalyptus pilularis*. No mesmo sentido, Vale et al. (2000) relataram uma produção energética para a espécie *Eucalyptus grandis* na da ordem de 0,222 Gcal árvore⁻¹, equivalente a 2,4 vezes a de *Acacia mangium*, que foi de 0,091 Gcal árvore⁻¹, no espaçamento de 3,0x2,0 m.

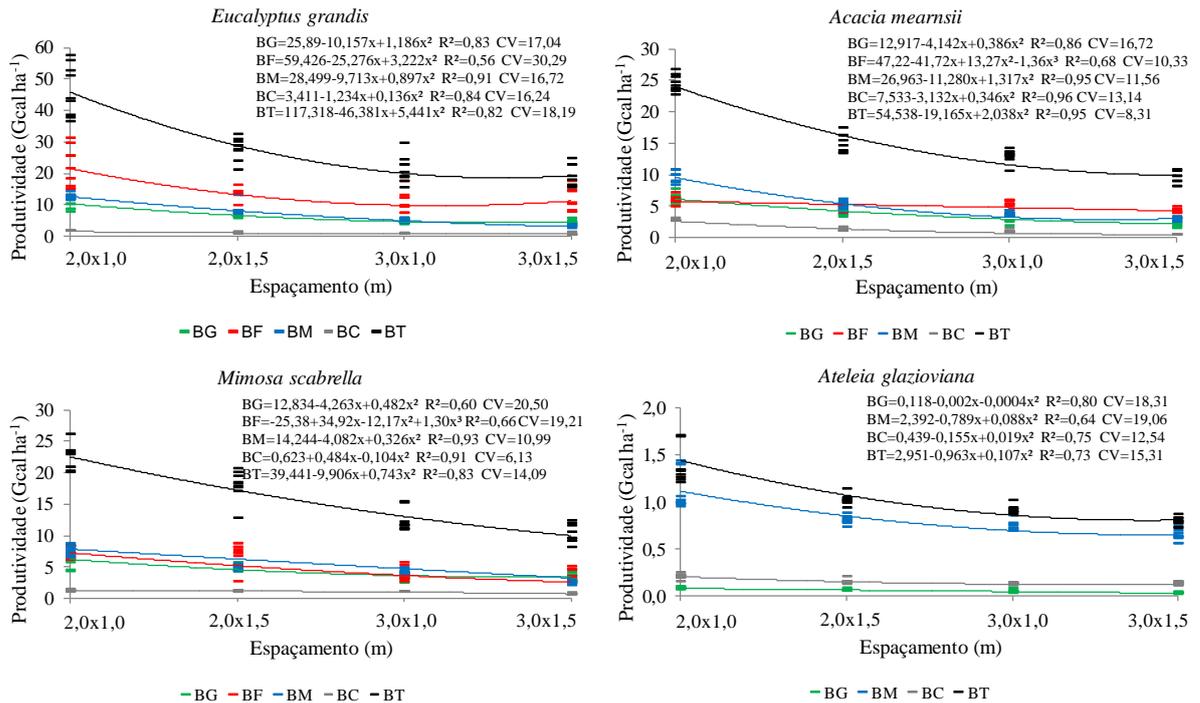


FIGURA 1 - Equações de regressão para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha⁻¹, das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, um ano após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

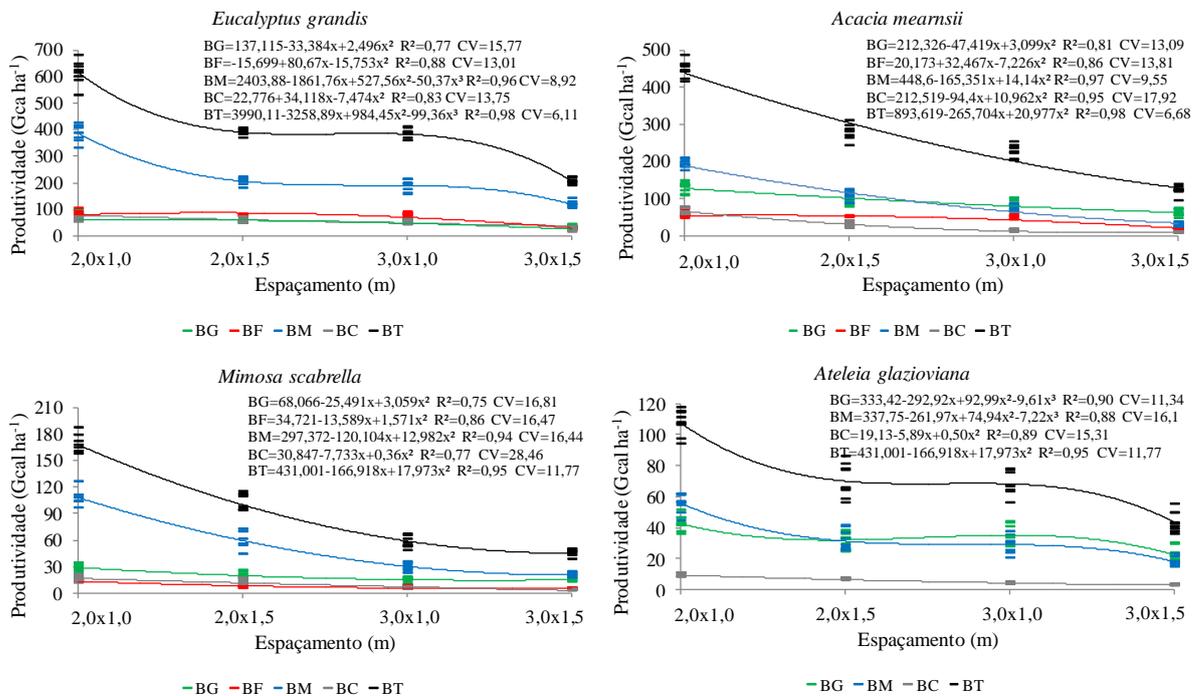


FIGURA 2 - Equações de regressão para a produtividade energética da biomassa da madeira (BM), biomassa da casca (BC), biomassa do galho (BG), biomassa da folha (BF) e biomassa total (BT), em Gcal ha⁻¹, das quatro espécies florestais distribuídas nos quatro espaçamentos, três anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Foi possível observar que os valores encontrados no presente estudo apresentaram similaridade com os da literatura. Deve-se destacar que as espécies que demonstraram maiores potencialidades na produtividade energética, quando analisada a madeira no terceiro ano, foram o *Eucalyptus grandis* (387,658 Gcal ha⁻¹) e *Acacia mearnsii* (192,694 Gcal ha⁻¹) no menor espaçamento de plantio (2,0x1,0 m), podendo-se inferir que a primeira espécie foi equivalente a duas vezes a segunda, demonstrando dessa forma, que a superioridade de produção energética de uma espécie sob a outra está relacionada, principalmente, à maior produção de biomassa verificada para o *Eucalyptus grandis*, uma vez que a diferença de poder calorífico é muito pequena.

5.6 Conclusões

Os diferentes espaçamentos de plantio induziram a diferentes produtividades energéticas da biomassa da parte aérea para as espécies estudadas, sendo verificada uma tendência sistemática negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelos espaçamentos de plantio, influenciados pelo maior número de árvores presentes em cada espaçamento.

As produtividades energéticas obtidas no terceiro ano, para todas as espécies são superiores as do primeiro ano após o plantio. A espécie *Eucalyptus grandis* apresenta a maior potencialidade de produtividade energética de madeira, dentre as espécies estudadas, equivalente a duas vezes a *Acacia mearnsii*, no espaçamento mais adensado (2,0x1,0 m).

5.7 Referências Bibliográficas

BRITO, J. O.; BARRICHELO L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p.121-126, 1980.

BRITO, J. O. et al. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 53-56, 1983.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5. ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740p.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP.** 2009, 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

GARCIA, E. A. et al. A energia da madeira em floresta de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: CONBEA, 2011. p. 1-4.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia.** Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial de Participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo, v. 31, n. 68, p. 363-372, 2011.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações.** Brasília: ANEEL, 2000, 144 p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba, 2002. p. 119-140.

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

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition.** Cary. 2003. 200 p.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa. Ed. UFV. 2006. 278p.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne,** Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

6 CONCLUSÃO GERAL

De maneira geral, os diferentes espaçamentos de plantio proporcionaram diferentes quantidades de biomassa da parte aérea e, conseqüentemente, na produtividade energética das quatro espécies florestais estudadas, no 1º e 3º ano de idade. Nesse cenário e sob as condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, conclui-se que:

Os menores espaçamentos de plantio conduziram a um aumento na produção de biomassa por unidade de área nas diferentes espécies estudadas, sendo verificada uma tendência sistemática negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelos espaçamentos, influenciados principalmente pelo número de árvores presentes nos diferentes espaçamentos. Dessa forma, as espécies que se destacaram na produção de biomassa foram o *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*.

A $\rho_{b \text{ pond}}$ da madeira não apresentou uma variação de acréscimo ou decréscimo ao longo do tempo, sendo que as espécies *Acacia mearnsii* e *Ateleia glazioviana* apresentam os maiores valores desta propriedade. Todavia, os diferentes níveis de espaçamentos não induziram à variação sistemática do PCS e da $\rho_{b \text{ pond}}$ nas espécies estudadas.

As produtividades energéticas obtidas no terceiro ano, para todas as espécies são superiores as do primeiro ano. A espécie *Eucalyptus grandis* apresentou as maiores potencialidades de produtividade energética, seguida da *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*.

Recomenda-se a utilização do menor espaçamento de plantio (2,0 x 1,0 m) para todas as espécies florestais estudadas, em plantios de curta rotação com uma maior produção de biomassa para fins energéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A. et al. 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.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <<http://www.guiaflorestal.com.br/?pg=lerartigo&id=83>>. Acesso em: 13 set. 2011.

ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, 1998.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ. Brasil de Rothschild & Cia, 1928. 143 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energias Renováveis do Brasil – Energia da biomassa**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa%282%29.pdf>>. Acesso em: 02 de ago. 2012.

ASSIS, R. L. et al. A produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.

BAGGIO, A. J. **Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde**. EMBRAPA Florestas: Circular Técnica 68, p. 1-8, 2002.

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

BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação de biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na Região Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

BERNARDO, A. L. **Crescimento e Eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

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

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2012**: ano base 2011: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro, 2012. 43 p.

BRITO J. O.; BARRICHELO L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, n. 20, p. 121-126, 1980.

BRITO, J. B. **O uso energético da madeira**. Esalq/USP: Estudos Avançados 21, Piracicaba, p. 185-193. 2007.

BRITO, J. O. et al. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 53-56, 1983.

BRITO, J. O.; BARRICHELO L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 121-126, 1980.

CARPANEZZI, A.A.; PAGANO, S.N.; BAGGIO, A.J. Banco de sementes de bracatinga em povoamentos do sistema agroflorestal tradicional de cultivo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 3-19, 1997.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Especies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPf. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no centro-sul do Brasil. In: SEMINÁRIO ESPÉCIES NÃO TRADICIONAIS PARA PLANTIOS COM FINALIDADES PRODUTIVAS E AMBIENTAIS, 1998. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1998. p. 75-99.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007, 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5.ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740 p.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP.** 2009, 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

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

CORDER, S.E. **Wood and bark as fuel.** Corvallis: School of Forestry, 1973. 28 p.

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

COUTO, L; MÜLLER, M. D. Florestas Energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para Energia.** 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1, p. 93-108, 2008.

CUNHA, M.P.S.C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. **Anais...** São Carlos, 1989. v. 2, p. 93-121.

DEBELL, D. S.; CHRISTOPHER, R. K.; GARTNER, B. L. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. **Australian Forestry**, v. 64, n. 2, p. 106-110, 2001.

DEDECEK, R. A. et al. Sistemas de preparación del suelo para plantación de *Acacia mearnsii* en dos lugares y su efecto en la productividad y en la erosión hídrica. In: PRIMER CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO: EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1998, Valdivia, Chile. **Actas...** Valdivia, Chile.

EISFELD, R. et al. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a partir de variáveis dendrométricas e da massa específica do disco. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E. et al. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Floresta. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA – CNPF, Documentos, n. 21, 1988. 113 p.

FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* 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, L. A. B. Arborização dos cursos d'água. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, n. 68, p. 16-21, 1983.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal** / Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, p. 269. 2002.

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

GANTER, J. L. M. S. **Estudo dos carboidratos de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga): análise estrutural dos oligosacarídeos e propriedades reológicas da galactomanana**. 1991. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, p. 1-8, 1991. (Circular Técnica, 179).

GARCIA, E. A. et al. A energia da madeira em floresta de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: CONBEA, 2011. p. 1-4.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p.101-126, 1997.

GOMES, J. E. **Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f (Teca) em área de cerrado sob diferentes espaçamentos.** 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

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

HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Wood Science and Technology**, Madison, v. 2, n. 4, p. 241-259, 1968.

HOWARD, A. M. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, London, v. 5, n. 3, p. 194-197, 1973.

JANKOWSKY, I. P. et al. **Madeiras brasileiras.** Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JESUS, R. M.; VITAL, B. R. Comparação entre densidades de matrizes e de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 82-90, 1986.

KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas. *Acacia mearnsii* De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v. 4, n. 2, p. 198-212, 1990.

KÖRBES, V. C. **Manual de plantas medicinais.** Francisco Beltrão: Associação de Estudos, Orientação e Assistência Rural, 1995. 188 p.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 – 78, 2001.

LANGELOH, A.; MAIDANA-LEGUIZAMON, F.; DALSENTER, P. Potencial abortivo e infertilizante de plantas brasileiras contaminantes ocasionais de pastagens de bovinos e outros herbívoros de interesse econômico. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, n. 12, v. 1-2, p. 11-18, 1992.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAES, N. F. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

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

LELES, P. S. S. **Crescimento alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LOPES, C. S. D. et al. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003, 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

MAGALHÃES, J. G. R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, p. 56-66, 1982.

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

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MATTOS P. P. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioveana*). **Embrapa: Comunicado Técnico nº 47**. 2000. p. 6.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MELLO, H. A. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção da madeira industrial. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 13-14. 1971.

MELO, R. R. et al. Estudo da Variação da Densidade Básica de Sete Madeiras do Semi-Árido. **Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal**. v. 4, n. 7, fev. 2006.

MIGLIORINI, A. J. et al. Variação da densidade básica da madeira de *E. grandis* em função de diferentes níveis da floresta. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 21., 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1988. 12 p.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011. 266 p.

MONTAGNA, R. G. et al. Peso de matéria seca, densidade básica e dimensões de fibras de *Pinus caribea* Mor. var. hondurensis Bar. Et Golf. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 13/14: 23-32, 1980.

MONTEIRO, R. F. R.; CORDEIRO, J. A. Ensaio conjugado de espaçamento de métodos de desbastes em *Pinus elliottii* Engelm. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 361-363, fev. 1983.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial de Participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 31, n. 68, p. 363-372, 2011.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Etamarandiba, MG**. 2005, 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000, 144 p.

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

OLIVEIRA, L. S. et al. Ocorrência de *Phaops thunbergi* (Coleoptera: Curculionidae) em *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 971-972. 2006.

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

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

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, p. 137-182, 1996.

RAMBO, B. Estudo comparativo das leguminosas riograndenses. **Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues**, Itajaí, n. 5, p. 107-184, 1953.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, n. 28/30, p. 3-320, 1978.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34/35, p. 1-525, 1983.

RESENDE, J. L. P. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 165-176, 1983.

ROQUE, R. M.; LEDZEMA, R. M. Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. **Madera y Bosques**, Heredia, v. 9, n. 2, p. 15- 27, 2003.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: 4º Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: bracatinga, uma alternativa para reflorestamento. **Anais...** EMBRAPA. URPFCS. Curitiba, 1981. p. 1-23.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, Brasil: 2002. P. 119-140.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R., Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. 2º Simpósio Latino Americano sobre Fixação de Carbono. Metodologias Curitiba, 2004. 205 p.

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

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary. 2003. 200 p.

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

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, 2001, p.151-165.

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de Madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, p. 151-165, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus terrelliana*, plantados em Anhembi-SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SILVA, D. A. et al. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p.1588-1595, 2012.

SILVA, J. V. H. et al. Diagnóstico do reaproveitamento de resíduos com potencial energético no município de Palmas-TO. **Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 226-233, 2011.

SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: STROHSCHOEN, A.G.; REMPEL, C. **Reflorestamento e recuperação ambiental: Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco**. Lajeado: Univates, 2005. p. 149-166.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa. Ed.UFV. 2006. 278 p.

SOUZA, A. P. et al. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* cultivado na região de Dionísio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, 1979.

STEIN, P. P.; TONIETTO, L. Black Wattle Silviculture in Brazil. In: BROWN, A.G.; KO, H.C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation**. Barton: RIRDC, 1997. p. 78-82.

STOLF, L. et al. Aborto em bovinos causado pela ingestão de *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, n. 14, v. 1, p. 15-18, 1994.

TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.

TREVISAN, R. et al. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012.

TRUGILHO, P. F. et al. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A. T. et al. **Influência do espaçamento e do sítio na produção Florestal**. Viçosa, MG: SIF, 1982. 20 p. (Boletim Técnico, 4).

- VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.
- VALE, A. T. et al. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.
- VALE, A.T. et al. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009.
- VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.
- WASHUSEN, R. et al. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.