

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELDER ELOY

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO  
NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

CURITIBA  
2015

ELDER ELOY

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO  
NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva  
Co-Orientador: Prof. Dr. Bráulio Otomar Caron  
Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

CURITIBA  
2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR  
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Eloy, Elder

Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul, Brasil/ Elder Eloy. – 2015  
157 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron

Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

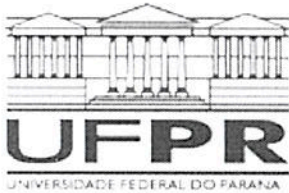
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/03/2015.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Biomassa vegetal - Rio Grande do Sul. 2. Madeira como combustível. 3. Florestamento. 4. Teses. I. Silva, Dimas Agostinho da. II. Caron, Braulio Otomar. III. Matos, Jorge Luis Monteiro de. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9098165

CDU – 634.0.548(816.5)

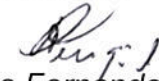


Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

## PARECER

Defesa nº. 1108

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Elder Eloy* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do (a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

  
Dr. Paulo Fernando Trugilho

Universidade Federal de Lavras  
Primeiro examinador

  
Dr. Bráulio Otomar Caron

Universidade Federal de Santa Maria  
Segundo examinador

  
Dr. Guilherme de Castro Andrade

Embrapa/Florestas  
Terceiro examinador

  
Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador

  
Dr. Dimas Agostinho da Silva

Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 27 de março de 2015.

  
Antonio Carlos Batista

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

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

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas contribuíram para a elaboração dessa tese, mas destaco e agradeço dentre todos, principalmente a colaboração das pessoas do meu convívio familiar, que sempre contribuíram para minha educação, apoiando e incentivando em todas as minhas decisões, com suas inúmeras orações, carinho, compreensão, paciência, palavras de sabedoria e amor incondicional, além de toda confiança depositada durante o tempo que estive distante para a realização deste sonho em comum, e o principal, por acreditar tanto em mim.

Agradeço também as pessoas do meu convívio acadêmico, como meu estimado orientador professor Dimas Agostinho da Silva, pela sua orientação, ensinamentos, estímulo e confiança depositados em mim, que foram fundamentais na realização desse trabalho e de muitos outros. Aos professores Braulio Otomar Caron e Denise Schmidt, pelo incentivo companheirismo, amizade e pelas valiosas contribuições, desde a época da graduação.

Aos demais professores, bolsistas, voluntários e amigos do Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e do Laboratório de Agroclimatologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), pelas amizades, parceria, companheirismo e fundamentais contribuições, tanto nos trabalhos de campo, quanto em laboratório.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de Doutorado. Assim como à UFPR, que através do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, possibilitou a realização desse trabalho.

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

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a produção e a qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram determinadas as propriedades energéticas e elementares dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, 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, terceiro e quinto ano após o plantio. Foi analisado um experimento conduzido no município de Frederico Westphalen-RS, instalado em delineamento de blocos completos casualizados com três repetições. Após a derrubada das árvores, foram retirados discos de 2,0 cm de espessura nas posições do tronco: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total, para as avaliações da biomassa de madeira e casca. Já para a determinação da biomassa dos galhos e folhas, foram retiradas amostras estratificadas ao longo da copa das árvores e determinado seu peso final. Foram determinadas as variáveis biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, produtividade energética, densidade energética, teor de carbono fixo, material volátil e cinzas, carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio elementar. Os resultados indicaram que as quatro espécies florestais apresentaram diferença em relação à produção de biomassa nos diferentes compartimentos, assim como para os constituintes elementares. O *E. grandis* e a *A. mearnsii* apresentam os maiores valores de biomassa, seguido da *M. scabrella* e *A. glazioviana*. Os quatro espaçamentos de plantio influenciaram nas propriedades energéticas. O aumento da densidade de plantio apresentou uma relação direta com a produção de biomassa e produtividade energética por unidade de área, nas diferentes idades de avaliação para as quatro espécies. As três idades assim como os quatro compartimentos das árvores induziram um efeito significativo nas propriedades energéticas e nos constituintes elementares. Do ponto de vista energético, até o 5º ano quanto maior a idade e menor o espaçamento de plantio, melhores são as propriedades energéticas da biomassa. Sendo recomendada a utilização do espaçamento 2,0 x 1,0 m para todas as espécies florestais estudadas, em plantios de curta rotação para uma maior produção de biomassa para fins energéticos. Os resultados da pesquisa são conclusivos para a idade dos povoamentos estudados quando se tem por objetivo a produção de biomassa para fins energéticos, os mesmos expressam uma boa tendência da variação que as espécies apresentam quando dispostas aos diferentes tratamentos estudados.

Palavras-chave: Produção de biomassa; Propriedades energéticas; Propriedades elementares; Espaçamento de plantio; Energia da biomassa florestal.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the production and quality of biomass energy forests in the northern state of Rio Grande do Sul, Brazil. For this, we determine the energy and elementary properties of the different compartments of biomass: wood, bark, twig and leaf species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill, distributed in different planting spacing: 2.0x1.0 m; 2.0x1.5 m; 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m, the first, third and fifth year after planting. An experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed in a completely randomized randomized with three replicates was analyzed. After the cutting of the trees were removed 2.0 cm thick discs in trunk positions: 0% (base), 25%, 50%, 75% and 100% of the total height for biomass wood and bark reviews. For the determination of biomass and branch and leaf, samples were taken stratified along the treetops and given its final weight. We determined the variables biomass, gross calorific value, specific gravity, energy productivity, energy density, fixed carbon content, volatile matter and ash, carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur and elementary oxygen. The results indicated that the forestry species show differences in relation to the production of the various compartments of the biomass as well as the elemental constituents. The *E. grandis* and *A. mearnsii* have the highest biomass values, followed by *M. scabrella* and *A. glazioviana*. The four planting spacing influenced the energetic properties. Increased planting density showed a direct relationship with the production of biomass and energy yield per unit area, at different ages assessment for the four species. The three ages as well as the four compartments of trees induced a significant effect on the energy properties and elementary constituents. From the energy point of view, to the 5<sup>th</sup> year with increasing age and lower the planting spacing, the better the energy properties of biomass. Being recommended the use of spacing 2.0 x 1.0 m for all forest species studied, in short rotation plantations for greater production of biomass for energy purposes. The research results are conclusive to the age of the stands studied when the objective is the production of biomass for energy purposes, they express a good trend of variation that species present when arranged in different treatments.

Keywords: Biomass production. Energetic properties. Elementary properties. Planting space. Energy of forest biomass.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....48
- FIGURA 2 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA DA MADEIRA, BIOMASSA DA CASCA, BIOMASSA DO GALHO, BIOMASSA DA FOLHA E BIOMASSA TOTAL ( $\text{ton ha}^{-1}$ ), DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS: *Eucalyptus grandis* (A), *Acacia mearnsii* (B), *Mimosa scabrella* (C) E *Ateleia glazioviana* (D), DISTRIBUÍDAS NOS QUATRO ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....58
- FIGURA 3 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....78
- FIGURA 4 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Acacia mearnsii* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....97
- FIGURA 5 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Mimosa scabrella* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....115
- FIGURA 6 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F),

MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....131

FIGURA 7 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE CARBONO DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *E. grandis* (B), *A. glazioviana* (C) E PARA O TEOR DE HIDROGÊNIO NA FOLHA DAS ESPÉCIES FLORESTAIS *A. mearnsii*, *M. scabrella* E *E. grandis* (D) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS..... 148

FIGURA 8 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE NITROGÊNIO DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *M. scabrella* (B), *E. grandis* (C) E *A. glazioviana* (D); E PARA O TEOR DE OXIGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS GALHO E FOLHA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (E), *M. scabrella* (F) E FOLHA PARA *E. grandis* (G) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS..... 150

FIGURA 9 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE ENXOFRE DOS QUATRO COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *M. scabrella* (B), *E. grandis* (C) E *A. glazioviana* (D) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .152

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 - VALORES DE ALTURA (H) E DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) PARA AS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NOS TRÊS PERÍODOS DE AVALIAÇÃO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. ....50
- TABELA 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, DISTRIBUÍDAS NOS QUATRO ESPAÇAMENTOS, NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. ....51
- TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL ( $\text{ton ha}^{-1}$ ), DAS ESPÉCIES FLORESTAIS DISTRIBUÍDAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS, UM ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....53
- TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL ( $\text{ton ha}^{-1}$ ), DAS ESPÉCIES FLORESTAIS DISTRIBUÍDAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS, TRÊS ANOS APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.....54
- TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL ( $\text{ton ha}^{-1}$ ), DAS ESPÉCIES FLORESTAIS DISTRIBUÍDAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS, CINCO ANOS APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.....56
- TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS..72
- TABELA 7 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM  $\text{ton ha}^{-1}$ , PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM  $\text{Gcal ha}^{-1}$ , PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM  $\text{kcal kg}^{-1}$ , TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM  $\text{g cm}^{-3}$  E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM

Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS...73

TABELA 8 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS...75

TABELA 9 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS...76

TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS...91

TABELA 11 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS...92

TABELA 12 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER

CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS ...93

TABELA 13 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS ...95

TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS 109

TABELA 15 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .111

TABELA 16 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM

DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. 112

TABELA 17 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. 113

TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS 125

TABELA 19 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. 127

TABELA 20 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS. 128

TABELA 21 - TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

(MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM  $\text{g cm}^{-3}$  E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM  $\text{Gcal m}^{-3}$ , PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .129

TABELA 22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NOS TRÊS PERÍODOS APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS .....144

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO PRIMEIRO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS ..... 145

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO TERCEIRO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS..... 146

TABELA 25 - VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS ..... 147

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
REFERÊNCIAS .....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1 BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA .....	22
2.2 ESPAÇAMENTO DE PLANTIO.....	23
2.3 ESPÉCIES ESTUDADAS .....	25
2.3.1 <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden .....	25
2.3.2 <i>Acacia mearnsii</i> De Wild .....	25
2.3.3 <i>Mimosa scabrella</i> Benth .....	26
2.3.4 <i>Ateleia glazioviana</i> Baill .....	27
2.4 PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	28
2.5 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA .....	29
2.6 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA .....	31
2.6.1 Teor de carbono fixo .....	31
2.6.2 Teor de materiais voláteis .....	32
2.6.3 Teor de cinzas .....	32
2.7 ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR .....	34
REFERÊNCIAS .....	35
<b>3 CAPÍTULO 1 – EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS</b> .....	43
3.1 INTRODUÇÃO .....	44
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.2.1 Caracterização da área de estudo .....	47
3.2.2 Amostragem .....	48
3.2.3 Determinação da biomassa .....	49
3.2.4 Análise dos dados .....	50
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
3.4 CONCLUSÃO .....	58
REFERÊNCIAS .....	59

<b>4 CAPÍTULO 2 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DO <i>Eucalyptus grandis</i> W. HILL EX MAIDEN</b> .....	62
4.1 INTRODUÇÃO .....	63
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
4.2.1 Caracterização da área de estudo .....	65
4.2.2 Amostragem .....	66
4.2.3 Biomassa (BIO) .....	67
4.2.4 Poder calorífico superior (PCS) .....	67
4.2.5 Massa específica básica (ME).....	68
4.2.6 Análise química imediata (AQI) .....	69
4.2.7 Produtividade energética (PE) .....	70
4.2.8 Densidade energética (DE) .....	70
4.2.9 Análise dos dados .....	71
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.4 CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS.....	82
<b>5 CAPÍTULO 3 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA <i>Acacia mearnsii</i> DE WILD</b> .....	86
5.1 INTRODUÇÃO .....	88
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
5.4 CONCLUSÃO.....	100
REFERÊNCIAS.....	101
<b>6 CAPÍTULO 4 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA <i>Mimosa scabrella</i> BENTH.</b> .....	105
6.1 INTRODUÇÃO .....	106
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	108
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	108
6.4 CONCLUSÃO.....	117
REFERÊNCIAS.....	118
<b>7 CAPÍTULO 5 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL</b> .....	121

7.1 INTRODUÇÃO .....	122
7.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	124
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	124
7.4 CONCLUSÃO.....	133
REFERÊNCIAS.....	134
<b>8 CAPÍTULO 6 - PROPRIEDADES ELEMENTARES DE QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS EM DIFERENTES IDADES .....</b>	<b>138</b>
8.1 INTRODUÇÃO .....	139
8.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	141
8.2.1 Caracterização da área de estudo .....	141
8.2.2 Amostragem .....	142
8.2.3 Análise elementar .....	142
8.2.4 Análise dos dados .....	143
8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	143
8.4 CONCLUSÃO.....	152
REFERÊNCIAS.....	153
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>156</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, 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.

No cenário energético nacional a biomassa ocupa posição importante, tratando-se de um recurso natural renovável, que pode ter sua produção sustentável e não apresentar o caráter poluidor das fontes fósseis. Inegavelmente, a biomassa florestal 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.

Atualmente, 8,3% da energia produzida nacionalmente, equivalente a 24,6 Mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), é originária da lenha e carvão vegetal (Ministério das Minas e Energia, 2014). Espera-se que a médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas, poderão acarretar em um maior aproveitamento energético da biomassa que, vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de suprimento para demandas isoladas da rede elétrica.

O uso da biomassa florestal, tradicionalmente foi associado ao desmatamento. No entanto, plantios florestais com fins energéticos vêm sendo cultivados exclusivamente com a finalidade de produzir lenha, carvão vegetal, pellet, briquetes e licor negro para uso industrial. Dessa forma, o manejo adequado dos povoamentos florestais, deve utilizar técnicas que permitam a produção de madeira em quantidade e, principalmente, em qualidade adequada para o desenvolvimento do setor.

O desenvolvimento deste trabalho na região norte do Rio Grande do Sul (região fisiográfica do Alto Uruguai) surgiu a partir da constatação da carência de informações e estudos ligados ao setor energético direcionado à biomassa florestal, principalmente quando associado ao compartimento madeira, pois nessa região,

utiliza-se com muita frequência a biomassa florestal em vários segmentos residenciais, comerciais e industriais.

Assim, este trabalho visa obter informações importantes para a região de estudada, referentes às propriedades energéticas de espécies florestais que apresentam potencialidade de geração de energia e que são cultivadas na região. Além disso, visa investigar o desenvolvimento de povoamentos florestais com vistas à produção de maior volume de madeira no menor espaço de tempo, para atender a demanda por biomassa (lenha), em especial como alternativa para a pequena propriedade rural, que é predominante na região de estudo.

Para isso, foi elaborada a seguinte hipótese:

É possível a implantação de florestas energéticas no norte do estado do Rio Grande do Sul com diferentes espécies florestais, dispostas em diferentes espaçamentos de plantio. Dentro desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a produção e a qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Nesse sentido, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- Verificar a diferença das quatro espécies florestais em relação à produção dos diferentes compartimentos da biomassa.
- Verificar a influência dos quatro espaçamentos de plantio nas propriedades energéticas da biomassa.
- Verificar a influência das três idades nas propriedades energéticas da biomassa.
- Verificar a diferença dos quatro compartimentos da biomassa em relação às propriedades energéticas.

Para responder estes objetivos, este trabalho foi dividido em seis capítulos:

Capítulo 1 - Efeito da idade e do espaçamento na produção de biomassa de quatro espécies florestais.

Capítulo 2 - Efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas do *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

Capítulo 3 - Efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas da *Acacia mearnsii* de Wild.

Capítulo 4 - Efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas da *Mimosa scabrella* Benth.

Capítulo 5 - Efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas da *Ateleia glazioviana* Baill.

Capítulo 6 - Propriedades elementares de quatro espécies arbóreas em diferentes idades.

## REFERÊNCIAS

Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2014. Relatório final ano base 2013. **Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro, Brasil. 2014, 288 p.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA

A biomassa é considerada uma fonte alternativa e renovável de energia, pois a mesma consiste em um material orgânico de origem vegetal. Segundo Nogueira e Lora (2003), a biomassa é a matéria vegetal oriunda da fotossíntese, que contém energia química procedente da transformação energética da radiação solar.

A utilização energética da biomassa florestal tem ganhado destaque em vários países devido a grande quantidade desse tipo de material produzido pelo setor agroflorestal. Assim, para que ocorra o aproveitamento racional e adequado da biomassa é necessário o estudo das suas propriedades energéticas.

Nesse contexto, o poder calorífico é sem dúvida a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma fonte de geração de energia, e para alguns combustíveis esta é considerada a principal propriedade (BRAND, 2010).

Entretanto, é fundamental a análise e o conhecimento de outras propriedades químicas e físicas da biomassa florestal, que assumem a mesma importância que o poder calorífico. Pois dependendo da amplitude da propriedade, pode ter influência direta sobre a viabilidade do uso do material como combustível.

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).

Apesar do balanço energético nacional informar que a oferta de madeira e carvão tenha diminuído ao longo dos anos, individualmente, observa-se que a produção destes produtos no Brasil tem uma tendência de crescimento, certamente em razão do aumento da atividade industrial no país. Esta tendência justifica a importância desse combustível para o Brasil e a necessidade de novos produtos que apresentam maiores densidades energéticas.

## 2.2 ESPAÇAMENTO DE PLANTIO

Um dos principais fatores que afetam a formação das florestas são os diferentes espaçamentos de plantio, pois apresentam implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, interferindo nas taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como nas práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, nos custos de produção (ELOY *et al.*, 2013). 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 foi 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 ideal, 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 e 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).

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 (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.

## 2.3 ESPÉCIES ESTUDADAS

### 2.3.1 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O *Eucalyptus grandis* 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 *Eucalyptus grandis* 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).

Esta 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 *et al.*, 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 mm ano<sup>-1</sup>) (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 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 constitui seu principal destino (STEIN; TONIETTO, 1997), sendo cultivada em mais de 10 mil pequenas propriedades rurais, cobrindo cerca de 140.000 ha, 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 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (CARVALHO, 2003), um poder calorífico superior de 4511 kcal kg<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2012) e uma massa específica básica entre 0,510 e 0,610 g cm<sup>-3</sup> (JANKOWSKY, 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° C e sem déficit hídrico (ROTTA; OLIVEIRA, 1981).

Sendo exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista, principalmente onde ocorrem áreas perturbadas (CARVALHO, 1994).

Para o mesmo autor, ocorre na floresta secundária, muitas vezes em formações puras (bracatingais), após ação antrópica, o que a caracteriza como espécie agressiva. Vive, em média, por 25 anos, sendo, portanto, uma espécie de baixa longevidade.

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 açúcares, 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) é 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, ovinos e equinos (CARVALHO, 2003) e outros herbívoros pela ingestão das folhas de *A. glazioviana* (LANGELOH *et al.*, 1992; STOLF *et al.*, 1994), devendo, portanto, ser evitada para o sombreamento em pastagens, sendo por esse motivo, permitido por lei o seu corte e retirada das áreas de campos e pastagens.

O timbó é uma espécie precursora e agressiva que invade os campos, formando povoamentos densos. No noroeste do Rio Grande do Sul (LONGUI, 1995) e oeste de Santa Catarina é considerada uma planta invasora, tal é o seu vigor reprodutivo e vegetativo. É a planta tóxica mais importante para o noroeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina (MÉNDEZ; RIET-CORREA, 2000).

## 2.4 PODER CALORÍFICO SUPERIOR

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 superior (PCS), sendo essa uma das características mais importantes (ELOY *et al.*, 2014). 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, para combustíveis sólidos.

De acordo com o mesmo autor, existem duas maneiras de se expressar o poder calorífico de um combustível, sendo o PCS e o poder calorífico inferior (PCI). No 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 PCI 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 PCS é mais usual.

Na literatura, encontram-se trabalhos que envolvem a obtenção do PCS de diferentes espécies florestais, tanto nativas quanto exóticas. Quirino *et al.* (2005) ao revisarem na literatura sobre diferentes espécies florestais tropicais, encontraram valor médio de PCS igual a 4732 kcal kg<sup>-1</sup>, variando do limite inferior de 3350 kcal kg<sup>-1</sup> ao limite superior de 5260 kcal kg<sup>-1</sup>. Esses mesmos autores relatam valores de PCS para a espécie *Mimosa scabrella* de 4589 a 4890 kcal kg<sup>-1</sup> e para *Eucalyptus grandis* de 4501 a 4701 kcal kg<sup>-1</sup>, estando dentro da faixa encontrada por Vale *et al.* (2000) que verificam para essa espécie valores médios de PCS de 4641 kcal kg<sup>-1</sup> e para *Acacia mangium* de 4619 kcal kg<sup>-1</sup>. Já Baggio (2002), estudando a espécie *Ateleia glazioviana* observou um PCS de 4450 kcal kg<sup>-1</sup>.

Da mesma forma, Silva *et al.* (2012) trabalhando com *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis*, *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana* em povoamentos plantados, observaram um PCS médio para estas espécies de 4482, 4346, 4511 e 4492 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 2.5 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Quando se pretende avaliar a qualidade da madeira, a massa específica básica é uma das principais características a serem consideradas, uma vez que está relacionada com alguns aspectos tecnológicos e econômicos muito importantes. Ela 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.

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) (MELO *et al.*, 2006). 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 tratos 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 e Hoon (1992), o fator densidade populacional por meio do espaçamento e/ou desbaste, ou a combinação de ambos são métodos silviculturais que influenciam 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 e Della Lucia (1987), não relataram efeito significativo do espaçamento de plantio e a massa específica básica da madeira.

## 2.6 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

A análise química imediata é uma análise que fornece a percentagem de umidade, material volátil, carbono fixo e cinzas. Assim, ela representa a percentagem do material que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), bem como dá uma indicação do material residual (cinzas).

### 2.6.1 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002). Isso ocorre pelo fato do mesmo estar relacionado à quantidade de cinzas e dos compostos voláteis (COTTA, 1996). Assim, o teor de carbono fixo depende principalmente do teor de material volátil, já que os teores de cinzas para madeira são baixos. Desta forma, madeira com maiores teores de material volátil tem menores teores de carbono fixo.

O rendimento em carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira. No entanto, é inversamente proporcional ao teor de holocelulose. É uma função direta do rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo presente na madeira (OLIVEIRA, 1988), apresentando relação direta com o poder calorífico. Um maior teor de carbono fixo implica em um maior tempo de residência dentro do aparelho de queima, sendo preferíveis porque queimam mais lentamente (PEREIRA *et al.*, 2000).

O controle da composição química, principalmente do carbono fixo, é importante, pois seu efeito reflete a utilização do forno por unidade de volume. Considerando-se um determinado alto forno e as mesmas condições operacionais à medida que se aumenta o teor de carbono fixo do carvão, maior é utilização volumétrica do alto forno (SCREMIN, 2012).

### 2.6.2 Teor de materiais voláteis

Os materiais voláteis podem ser definidos como as substâncias que são despreendidas da madeira como gases durante a queima ou carbonização. Os fatores que influenciam os materiais voláteis são a temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira (CARMO, 1988).

Os voláteis compreendem a parte do combustível que se volatiliza quando ele é aquecido a altas temperaturas e têm um importante papel na combustão. Após a volatilização, misturam-se com o oxigênio do ar e entram em combustão. De um modo geral, as madeiras com altos teores de voláteis queimam mais rapidamente (PEREIRA *et al.*, 2000). Assim, os materiais voláteis durante a queima da biomassa volatilizam rapidamente diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética (CHAVES *et al.*, 2013).

Para Klautau (2008), o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e, conseqüentemente, a ignição. Assim, determina a facilidade com que uma biomassa queima.

A biomassa ao apresentar um alto teor de materiais voláteis tem maior facilidade de incendiar e queimar, embora o processo de combustão seja rápido o mesmo é difícil de controlar. Um alto teor de matérias voláteis também pode afetar o processo de combustão em geral (SCREMIN, 2012).

### 2.6.3 Teor de cinzas

Teor de cinzas corresponde a substâncias que não entram em combustão ficando na forma sólida e são indesejáveis para uso energético. Ou seja, são substâncias compostas de material inorgânico e tem relação inversa com o poder calorífico (CHAVES *et al.*, 2013).

Para Nogueira e Rendeiro (2008) são caracterizadas como teor de cinzas os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidações dos

inorgânicos. Dessa forma, as cinzas são resultados da combustão da biomassa, a qual se processa em altas temperaturas, tornando-se necessário conhecimento do comportamento destas cinzas para evitar operações inadequadas. As mesmas podem originar-se de elementos metálicos já presentes no combustível; de argila, areia e sais que possam estar na biomassa e ainda por solos misturados a biomassa durante sua colheita ou manuseio.

As cinzas são constituídas de composto de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). Quando presentes em alta concentração podem diminuir o poder calorífico, causando perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor (KLAUTAU, 2008).

Segundo Vieira *et al.* (2013) um alto teor de cinzas leva a uma diminuição da eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas e pela perda de calor com a saída das cinzas do reator, que não pode ser plenamente recuperado. Relata ainda, que para a gaseificação o menor teor de cinzas reduz o entupimento e incrustações por escórias no equipamento.

Como a umidade, o teor de cinzas também interfere no poder calorífico causando perda de energia, além de prejudicar a transferência de calor. Brand (2010) e Klautau (2008) concordam quando se referem na necessidade de remoção das cinzas, pois quando a mesma permanece no local do processo de combustão, devido ao fato que as cinzas serem consideradas material abrasivo, podem vir a causar problemas de corrosão em equipamentos metálicos.

O conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos aspectos, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo. Outro critério que deve ser visto é o ponto de amolecimento e fusão das cinzas, pois processos de combustão com temperaturas maiores ao seu amolecimento podem propiciar a aglomeração de material particulado denominado fusão da cinza, que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

## 2.7 ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR

A análise elementar é empregada para a determinação da composição dos elementos que compõem uma substância qualquer, e através desta, pode-se estimar o poder calorífico superior dos combustíveis. Esse ensaio fornece os percentuais dos elementos, carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e cinzas contidos na amostra da biomassa combustível (CORTEZ *et al.*, 2008; NOGUEIRA; LORA, 2003; KLAUTAU, 2008; VIEIRA, 2013).

A quantificação dos componentes químicos elementares é de fundamental importância na caracterização de um biocombustível sólido, pois a energia liberada durante o processo de combustão está positivamente relacionada com os teores de carbono e hidrogênio, que são os elementos químicos principais e apresentam correlações diretas com o poder calorífico e, de forma contrária, o teor de oxigênio, que não contribui para o aumento do poder calorífico do combustível (SENELWA; SIMS, 1999; OBERNBERGER *et al.*, 2006; HUANG *et al.*, 2009; PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2009; BUFALINO *et al.*, 2012). Assim, um aumento do teor de oxigênio e diminuição do teor de hidrogênio tende a diminuir o poder calorífico dos combustíveis de biomassa vegetal (PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2009; DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2004).

Baixos valores de hidrogênio na composição da madeira resultam em uma alta relação Carbono/Hidrogênio, fato este indesejável quando se visa à produção de energia, pois pequenos acréscimos no teor de hidrogênio promovem elevado ganho no valor calórico dos combustíveis de biomassa. Para Protásio *et al.* (2011), a cada 1% de acréscimo no teor de hidrogênio ocorre um aumento de aproximadamente  $515 \text{ kcal kg}^{-1}$  no poder calorífico superior da biomassa vegetal. Os mesmos autores observaram que a cada 1% de acréscimo no teor de carbono ocorre um aumento de apenas  $64,14 \text{ kcal kg}^{-1}$  no valor calórico da biomassa.

Portanto, quando se tem como objetivo a produção de energia é desejável que a madeira apresente elevados teores de carbono e hidrogênio e baixos teores de oxigênio e cinzas, em contrapartida, apresentam correlações, respectivamente, positivas e negativas existentes entre esses componentes e o poder calorífico

(PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2009; DEMIRBAS & DEMIRBAS, 2009).

Os teores de enxofre e o nitrogênio contribuem relativamente pouco na liberação de energia de um combustível, além de ocasionarem poluição do ambiente e formação de chuva ácida após sua liberação na atmosfera após a combustão completa do combustível (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008; ASSIS *et al.*, 2012). O nitrogênio está diretamente relacionado com a emissão de componentes NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio tóxicos), corrosão e deposição de cinzas (DEMIRBAS, 2004). Já uma maior concentração de enxofre pode ocasionar à formação de chuva ácida (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008) e, conseqüentemente, a formação de FeCl<sub>2</sub> e ZnCl<sub>2</sub>, componentes corrosivos nas caldeiras (TELMO *et al.*, 2010). Além de apresentarem correlação negativa com o poder calorífico (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008; HUANG *et al.*, 2009; KUMAR *et al.*, 2010, NEVES *et al.*, 2013).

## REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A.; FILHO, M. T.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, 2005.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em:

<<http://www.guiaflorestal.com.br/?pg=lerartigo&id=83>>. Acesso em: 13 set. 2013.

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

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

BAGGIO, A. J. Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde. **Circular Técnica** n. 68, Embrapa Florestas, Colombo, PR. 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.** 102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BILGEN, S.; KAYGUSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, v. 85, n. 8, p. 776-785, 2008.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010, 131 p.

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

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012.

CARMO, J. S. **Propriedades Físicas e Químicas do Carvão Vegetal destinado à Siderurgia e Metalurgia.** 50 f. Monografia (Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

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. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ. 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-CNPQ, 1998. p. 75-99.

CHAVES, A. M. B. VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP.** 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**, Piracicaba, n. 1, p. 29-55, 1970.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S; AYARZA, J. A. C.. Biomassa no Brasil e no Mundo. **Biomassa para Energia**. Campinas-SP: Editora Unicamp, 2008.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do Carvão Vegetal para Siderurgia**. 35 f. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

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

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.; RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; SIMON, A. 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, Valdivia, Chile. **Actas...** Valdivia, Chile. 1998.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, Pittsburgh, v. 30, n. 2, p. 219-230, 2004.

DEMIRBAS, T.; DEMIRBAS, C. Fuel properties of wood species. **Energy sources part**, London, v. 31, n. 16, p. 1464-1472, 2009.

EISFELD, R.; EISFELD, C. L.; FERREIRA, J. M.; PIMENTEL, A.; RODRIGUES, F.; ALMEIDA, A. 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. **Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.3, p.551-559, 2014.

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.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M. 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**. 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**. 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**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

HUANG, C.; HAN, L.; YANG, Z.; LIU, X. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 1793–1797, 2009.

JANKOWSKY, I. P. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 171 p.

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

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. 192. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid. **Journal of Forestry Research**, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

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, v.1-2, n.12, 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.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. 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.

LONGUI, A. **Livro das árvores: árvores e arvoretas do sul**. Porto Alegre: L & M, 1995. 174p.

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

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 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.

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**, n 47. 2000. 6 p.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. S. 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.

MCKENDRY, P. **Recurso tecnológico**. v. 82. p. 47-54. 2002.

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.; PAES, J. B.; LIMA, C. R.; FERREIRA, A. G. Estudo da Variação da Densidade Básica de Sete Madeiras do Semi-Árido. **Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal**. v. 4, n. 7, p.1-8. 2006.

MÉNDEZ, M.; RIET-CORREA, F. **Plantas tóxicas e micotoxicoses**. Pelotas: Ed. Universitária / UFPel, 2000. 112 p.

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, 1983.

NEVES, T. A. PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista Ciência Agrária**, Belém, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

NOGUEIRA, L. A.; LORA, H. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**, 2 ed, 2003.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. In: BARRETO, Eduardo José Fagundes. **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2006.

OLIVEIRA, E. Correlação Entre Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden). 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, L. S.; COSTA, E. C.; CANTARELLI, E. C.; PERRANDO, E. R.; PACHECO, D. D. P. Ocorrência de *Phaops thunbergi* (Coleoptera: Curculionidae) em *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 971-972, 2006.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos**, n. 38, Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122 -133, 2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

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. 2-292, 1978.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34/35, p. 5-483, 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. URPFC. Curitiba, 1981. p. 1-23.

SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P. 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.

SCREMIN, A. L. T. **Estudo Energético e Físicoquímico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

SENELWA, K.; SIMS, R. E. H. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 127-140, 1999.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. 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.; GAVA A.; VARASCHIM M. S.; NEVES D. S.; MONDADORI A.; SCOLARI L. S. 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.

TELMO, C.; LOUSADA, J.; MOREIRA, N. Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n.11, p. 3808-3815, 2010.

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

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

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. 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.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. D. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.387- 394, 2009.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

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.; BAKER, T.; MENZ, D. 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 1 – EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS

#### RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio na capacidade de produção de biomassa das espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill. Foram considerados plantios com diferentes espaçamentos: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, nas idades de 1, 3 e 5 anos após o plantio. O 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 da copa das árvores e determinado seu peso final. O aumento da densidade de plantio apresentou relação direta com o crescimento 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 na madeira e nos galhos, seguido da folha e da casca. As espécies que se destacaram foram o *E. grandis* e a *A. mearnsii*, seguido da *M. scabrella* e *A. glazioviana*.

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

## EFFECT OF AGE AND SPACING ON BIOMASS PRODUCTION OF FOUR FOREST SPECIES

### ABSTRACT

This study aimed to determine the capacity of biomass production of the following forest species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill distributed in plantations with different spacing: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m at ages 1, 3 and 5 years after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications, in the split-plot scheme. The determination of biomass consisted of cutting and weighing different tree compartments. For wood and bark, discs of 2.0 cm in thickness were removed from the stem at 0% (base), 25%, 50%, 75% and 100% of the total height. As for branch and leaf biomass, stratified samples from the treetops were removed and its final weight determined. The increased planting density presented direct relationship with the growth of biomass per unit area in different years of assessment. The higher biomass was observed in the denser spacing and was mainly concentrated on wood and twig, followed by leaf and bark. The highlighted species were *E. grandis* and *A. mearnsii*, followed by *M. scabrella* and *A. glazioviana*.

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

### 3.1 INTRODUÇÃO

A demanda de energia nas últimas décadas vem se baseando principalmente, em fontes não renováveis, o que acaba gerando uma série de questionamentos em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico. Assim,

muitos países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo mediante a intensificação do uso de fontes renováveis, incluindo a biomassa florestal.

Conceitua-se a biomassa como 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 contribuição da biomassa florestal no balanço energético brasileiro veio decrescendo ao longo do tempo, sobretudo porque houve um incentivo maior para outras fontes de energia, como o uso de derivados de petróleo e hidroeleticidade, 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.

Dentre as populações que utilizam a fonte de energia oriunda da biomassa, enquadra-se 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).

Os avanços conquistados na área da silvicultura brasileira estão aliados às ótimas condições edafoclimáticas existentes quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia. Nesse contexto, 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.

Os tratamentos silviculturais e o manejo florestal visando à produção de biomassa para energia fundamentam-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 são estabelecidas 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).

A definição do espaçamento para plantio florestal é de grande importância, considerando a sua influência na taxa de crescimento, no valor e na qualidade da matéria-prima, no manejo, na exploração florestal, nos custos de produção (BALLONI; SIMÕES, 1980; SIMÕES *et al.*, 1981; BALLONI, 1983). Conforme Patiño-Valera (1986), o espaçamento ótimo é aquele capaz de produzir o maior volume de produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, isso quando relacionado com a espécie, o sítio e o potencial genético do material reprodutivo que for utilizado.

Quando se tem como objetivo a produção madeireira para fins energéticos, normalmente recomendam-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.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio na capacidade de produção de biomassa das espécies florestais: *A. mearnsii* De Wild, *E. grandis* W. Hill ex Maiden, *M. scabrella* Benth e *A. 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 1º, 3º e 5º ano após o plantio.

## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

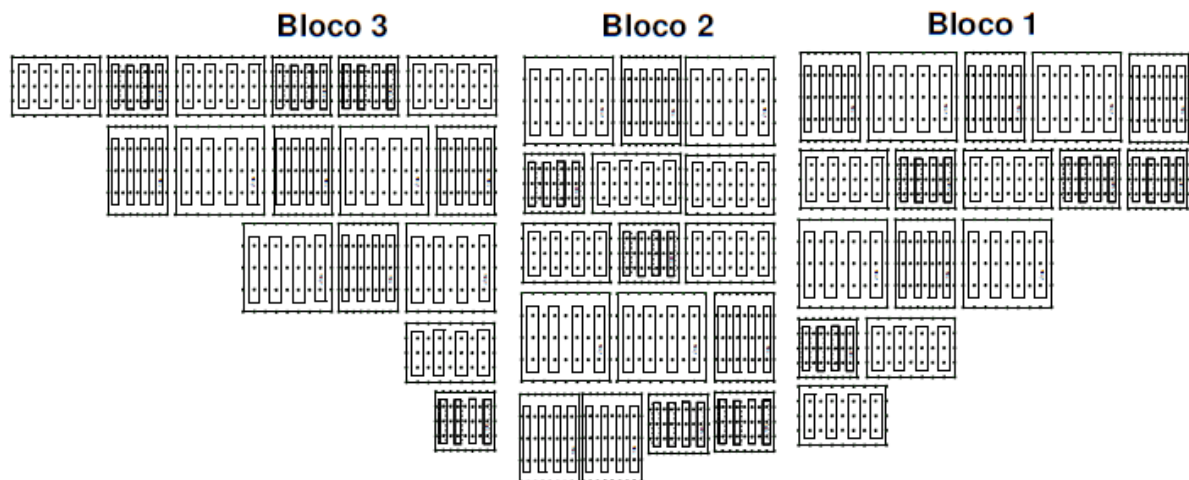
### 3.2.1 Caracterização da área de estudo

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, ou seja, subtropical úmido com temperatura média anual de 19,1°C, variando com máxima de 38° C e mínimo de 0° C, apresentando uma precipitação média anual de 1606 mm. 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 uma 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, dispostos em um esquema fatorial 4x4x3, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill), quatro espaçamentos (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m) e três períodos após o plantio (1º, 3º e 5º ano) 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, sendo que cada uma apresenta 45 plantas distribuídas em cinco linhas. As unidades experimentais foram divididas em quatro subparcelas, sendo que foram avaliadas somente três, uma em cada idade, compostas por três plantas, como apresentado no croqui da área experimental (FIGURA 1).

FIGURA 1 - CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.



O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, profundo bem drenado, pertencente a unidade de mapeamento de Passo Fundo (EMBRAPA, 2006). A área do experimento está em uma região de baixada, apresentando solo considerado bom de deposição. No seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de subsolagem e gradagem. O plantio foi realizado de forma manual, com posterior adubação NPK de 150 gramas por muda, em setembro de 2008.

### 3.2.2 Amostragem

As avaliações destrutivas foram realizadas no 1º ano (2009), 3º ano (2011) e 5º ano (2013) após o plantio do experimento, onde foram selecionadas 144 árvores por ano de avaliação, que corresponderam a 36 árvores por espaçamento, sendo que dessas, foram retirados seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições ao longo do fuste: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% 75% e 100% 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 da UFSM onde foram marcados, separada a casca da madeira, e posteriormente, seccionadas duas cunhas simetricamente opostas 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 extensão 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, folha e galho foram secas a  $103 \pm 2$  °C até massa constante.

Para a espécie *A. glazioviana*, a amostragem de folhas 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.

### 3.2.3 Determinação da biomassa

Para determinação da biomassa da madeira, biomassa da casca, biomassa do galho e biomassa da folha das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, no primeiro, terceiro e quinto 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 em condição de campo, sendo que, de cada compartimento foram retiradas amostras para obtenção do seu teor de umidade em laboratório.

A massa da biomassa seca da parte aérea, em  $\text{ton ha}^{-1}$ , foi calculado considerando a densidade populacional de cada espaçamento, admitindo-se uma sobrevivência igual a 100% no 1º e 3º ano, e de 94% para o 5º ano após o plantio, conforme verificado nas condições do experimento.

Na TABELA 1 estão apresentados os valores de altura e diâmetro a altura do peito das quatro espécies florestais.

TABELA 1 - VALORES DE ALTURA (H) E DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) PARA AS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NOS TRÊS PERÍODOS DE AVALIAÇÃO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Espécie	H (m)	DAP (cm)
Ano 1		
<i>E. grandis</i>	3,1	2,1
<i>A. mearnsii</i>	2,5	1,5
<i>M. scabrella</i>	2,9	1,7
<i>A. glazioviana</i>	0,6	0,0
Ano 3		
<i>E. grandis</i>	13,1	9,4
<i>A. mearnsii</i>	8,0	7,1
<i>M. scabrella</i>	6,2	4,1
<i>A. glazioviana</i>	4,6	4,3
Ano 5		
<i>E. grandis</i>	20,2	15,1
<i>A. mearnsii</i>	10,5	10,5
<i>M. scabrella</i>	8,4	7,0
<i>A. glazioviana</i>	6,4	5,8

### 3.2.4 Análise dos dados

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

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa para a produção de biomassa média da madeira, casca, galho, folha e total, nos três fatores: ano, espécie e espaçamento. Da mesma forma, observou-se esta característica para todas as interações analisadas, ou seja, para os três anos em relação às quatro espécies florestais, para os três anos nos quatro espaçamentos de plantio, para as quatro espécies florestais frente aos quatro espaçamentos de plantio e, para os três

anos frente às quatro espécies florestais dispostas nos quatro espaçamentos de plantio (TABELA 2).

TABELA 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, DISTRIBUÍDAS NOS QUATRO ESPAÇAMENTOS, NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

		Efeito Principal					
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Madeira	Casca	Galho	Folha	Total	
Espécie (Esp)	3	150928,0*	923,8*	3995,3*	1988,2*	246092,1*	
Espaçamento (Espaç)	3	14592,5*	150,9*	718,6*	294,9*	30310,4*	
Esp x Espaç	9	2368,2*	37,6*	368,0*	75,3*	5780,3*	
Bloco	2	14,6 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	3,9 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	33,7 <sup>ns</sup>	
Erro A	30	51,5	0,5	3,0	0,4	57,4	
* Significativo à probabilidade de erro tipo A							
Ano	2	205369,7*	1282,0*	7557,1*	1763,1*	344151,4*	
Ano x Esp	6	76511,6*	270,0*	1158,1*	398,8*	97449,0*	
Ano x Espaç	6	4027,5*	65,6*	174,7*	78,4*	7444,3*	
Ano x Esp x Espaç	18	1032,6*	16,6*	205,1*	66,7*	2500,5*	
Erro B	298	27,7	0,5	1,3	0,5	32,8	
* Significativo à probabilidade de erro tipo B							
Coeficiente de determinação		0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	
Coeficiente de variação (%)		21,9	20,2	21,6	14,6	19,2	
		Efeito Simples					
		Ano x espaçamento x espécie					
Ano	1	15	5,0* <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	3,8*	11,5*	62,6*
	3	15	4849,2*	297,5*	472,7*	346,4*	13882,0*
	5	15	52728,0*	92,2*	1266,9*	340,8*	74920,0*
Espaç	2,0 x 1,0 m	11	43933,0*	297,6*	2023,9*	524,3*	72874,0*
	2,0 x 1,5 m	11	29123,0*	194,8*	522,1*	286,4*	41976,0*
	3,0 x 1,0 m	11	25555,0*	156,1*	790,2*	376,8*	40474,0*
	3,0 x 1,5 m	11	17752,0*	73,0*	289,0*	123,5*	26638,0*
Esp	<i>A. mearnsii</i>	11	11281,0*	166,2*	2216,7*	326,9*	31548,0*
	<i>M. scabrella</i>	11	1377,6*	16,0*	67,2*	3,9*	2482,0*
	<i>E. grandis</i>	11	77115,0*	337,4*	510,0*	371,5*	103629,0*
	<i>A. glazioviana</i>	11	529,8*	4,6*	108,6*	-	1096,3*

Em que: GL=Grau de liberdade; \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup> = não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

A partir da análise do efeito simples observou-se que não ocorreu diferença significativa para a biomassa da casca no 1º ano após o plantio. Já para o 3º e 5º ano, esta característica foi observada para todas as espécies em todos os espaçamentos (TABELA 2).

Quando analisada a produção de biomassa no 1º ano de avaliação, o *E. grandis* apresentou maiores quantidades de biomassa de folha e total em todos os espaçamentos, quando comparado com as outras espécies. O *E. grandis* apresentou maiores quantidades de biomassa de madeira e galho, no entanto, não diferiu estatisticamente da *A. mearnsii* e *M. scabrella* para estas variáveis. A biomassa de casca não apresentou diferença significativa entre as diferentes espécies, como pode ser observado na TABELA 3.

No 3º ano após o plantio, a espécie *E. grandis* apresentou a maior produção média de biomassa de madeira (90,988 ton ha<sup>-1</sup>; 47,636 ton ha<sup>-1</sup>; 46,888 ton ha<sup>-1</sup> e 27,461 ton ha<sup>-1</sup>), biomassa de folha (17,454 ton ha<sup>-1</sup>; 15,932 ton ha<sup>-1</sup>; 16,783 ton ha<sup>-1</sup> e 5,585 ton ha<sup>-1</sup>), biomassa de casca (16,284 ton ha<sup>-1</sup>; 15,553 ton ha<sup>-1</sup>; 13,536 ton ha<sup>-1</sup> e 6,998 ton ha<sup>-1</sup>) e biomassa total (142,866 ton ha<sup>-1</sup>; 90,893 ton ha<sup>-1</sup>; 90,526 ton ha<sup>-1</sup> e 48,174 ton ha<sup>-1</sup>) 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 os valores médios das outras espécies. Já a *A. mearnsii*, de uma maneira geral, apresentou os maiores valores médios de biomassa de galho (28,139 ton ha<sup>-1</sup>; 21,733 ton ha<sup>-1</sup>; 19,440 ton ha<sup>-1</sup> e 13,502 ton ha<sup>-1</sup>) para os mesmos espaçamentos de plantio, do que as demais espécies, como pode ser observado na TABELA 4.

Já a espécie *A. glazioviana* apresentou os menores valores médios de biomassa aérea para todos os compartimentos avaliados, ou seja, para a biomassa de madeira (12,656 ton ha<sup>-1</sup>; 7,116 ton ha<sup>-1</sup>; 6,591 ton ha<sup>-1</sup> e 4,111 ton ha<sup>-1</sup>), biomassa de galho (9,543 ton ha<sup>-1</sup>; 7,142 ton ha<sup>-1</sup>; 7,839 ton ha<sup>-1</sup> e 5,005 ton ha<sup>-1</sup>), sendo superior a espécie *M. scabrella* em todos os espaçamentos e não diferiu para a biomassa da madeira, casca e total nos espaçamentos 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m. Já para a biomassa de casca (1,977 ton ha<sup>-1</sup>; 1,484 ton ha<sup>-1</sup>; 0,939 ton ha<sup>-1</sup> e 0,662 ton ha<sup>-1</sup>) e biomassa total (24,177 ton ha<sup>-1</sup>; 15,742 ton ha<sup>-1</sup>; 15,370 ton ha<sup>-1</sup> e 9,780 ton ha<sup>-1</sup>) 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 biomassa de folha não foi mensurada devido à senescência das folhas no período avaliado (TABELA 4).

TABELA 3 – VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL (ton ha<sup>-1</sup>), 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
Biomassa de madeira				
<i>A. mearnsii</i>	2,118 aA (41,0%)	1,08 aAB (34,7%)	0,804 aAB (29,9%)	0,643 aB (32,8%)
<i>M. scabrella</i>	1,618 aA (33,7%)	1,055 aA (27,4%)	0,899 aA (33,8%)	0,542 aA (24,9%)
<i>E. grandis</i>	2,759 aA (27,1%)	1,801 aAB (29,9%)	1,059 aB (22,9%)	0,739 aB (19,3%)
<i>A. glazioviana</i>	0,256 bA (80,8%)	0,179 bA (79,9%)	0,165 bA (81,6%)	0,140 aA (80,9%)
Biomassa de casca <sup>ns</sup>				
<i>A. mearnsii</i>	0,548 (10,6%)	0,232 (7,4%)	0,195 (7,3%)	0,088 (4,5%)
<i>M. scabrella</i>	0,268 (5,6%)	0,248 (6,4%)	0,237 (8,9%)	0,155 (7,1%)
<i>E. grandis</i>	0,387 (3,8%)	0,261 (4,3%)	0,175 (3,8%)	0,16 (4,2%)
<i>A. glazioviana</i>	0,044 (13,8%)	0,032 (14,3%)	0,027 (13,4%)	0,027 (15,6%)
Biomassa de galho				
<i>A. mearnsii</i>	1,351 aA (26,1%)	0,885 aA (28,4%)	0,652 aA (24,2%)	0,451 aA (23,0%)
<i>M. scabrella</i>	1,357 aA (28,2%)	1,061 aA (27,5%)	0,731 aA (27,5%)	0,762 aA (35,0%)
<i>E. grandis</i>	2,376 aA (23,3%)	1,425 aAB (23,7%)	1,090 aB (23,6%)	0,996 aB (26,0%)
<i>A. glazioviana</i>	0,017 bA (5,4%)	0,013 bA (5,8%)	0,010 bA (5,0%)	0,006 bA (3,5%)
Biomassa de folha				
<i>A. mearnsii</i>	1,155 bA (22,3%)	0,919 bA (29,5%)	1,038 bA (38,6%)	0,779 bA (39,7%)
<i>M. scabrella</i>	1,558 bA (32,5%)	1,489 bA (38,6%)	0,792 bB (29,8%)	0,718 bB (33,0%)
<i>E. grandis</i>	4,663 aA (45,8%)	2,533 aB (42,1%)	2,297 aB (49,7%)	1,929 aB (50,4%)
Biomassa total				
<i>A. mearnsii</i>	5,172 abA	3,116 cB	2,689 bB	1,961 bC
<i>M. scabrella</i>	4,797 bA	3,853 bB	2,659 bC	2,177 bC
<i>E. grandis</i>	10,185 aA	6,020 aB	4,621 aC	3,824 aD
<i>A. glazioviana</i>	0,317 cA	0,224 dA	0,202 cA	0,173 cA

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey; Valores entre parênteses são as porcentagens de biomassa que cada compartimento apresenta nas diferentes espécies.

TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL (ton ha<sup>-1</sup>), 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
Biomassa de madeira				
<i>A. mearnsii</i>	45,000 bA (45,9%)	24,584 bB (39,1%)	17,740 bC (35,7%)	7,293 bD (27,6%)
<i>M. scabrella</i>	24,896 cA (65,2%)	14,324 cB (60,9%)	6,559 cC (51,1%)	4,846 bD (46,9%)
<i>E. grandis</i>	90,988 aA (63,7%)	47,636 aB (52,4%)	46,888 aB (51,8%)	27,461 aC (57,0%)
<i>A. glazioviana</i>	12,656 dA (52,3%)	7,116 dB (45,2%)	6,591 cB (42,9%)	4,111 bC (42,0%)
Biomassa de casca				
<i>A. mearnsii</i>	14,200 bA (14,5%)	7,035 bB (11,2%)	3,310 bC (6,7%)	2,191 bD (8,3%)
<i>M. scabrella</i>	3,820 cA (10,0%)	3,049 cB (13,0%)	1,359 cC (10,6%)	0,910 cC (8,8%)
<i>E. grandis</i>	16,284 aA (11,4%)	15,553 aB (17,1%)	13,536 aB (15,0%)	6,998 aC (14,5%)
<i>A. glazioviana</i>	1,977 dA (8,2%)	1,484 dAB (9,4%)	0,939 cBC (6,1%)	0,662 cC (6,8%)
Biomassa de galho				
<i>A. mearnsii</i>	28,139 aA (28,7%)	21,733 aB (34,6%)	19,440 aC (39,1%)	13,502 aD (51,1%)
<i>M. scabrella</i>	6,592 dA (17,3%)	4,606 dB (19,6%)	3,339 dC (26,0%)	3,492 dC (33,8%)
<i>E. grandis</i>	18,140 bA (12,7%)	11,772 bB (13,0%)	13,319 bC (14,7%)	8,130 bD (16,9%)
<i>A. glazioviana</i>	9,543 cA (39,5%)	7,142 cB (45,4%)	7,839 cB (51%)	5,005 cC (51,2%)
Biomassa de folha				
<i>A. mearnsii</i>	10,799 bA (11,0%)	9,545 bB (15,2%)	9,259 bB (18,6%)	3,437 bC (13,0%)
<i>M. scabrella</i>	2,884 cA (7,6%)	1,559 cB (6,6%)	1,585 cB (12,3%)	1,095 cB (10,6%)
<i>E. grandis</i>	17,454 aA (12,2%)	15,932 aC (17,5%)	16,783 aB (18,5%)	5,585 aD (11,6%)
Biomassa total				
<i>A. mearnsii</i>	98,138 bA	62,897 bB	49,749 bC	26,423 bD
<i>M. scabrella</i>	38,192 cA	23,538 cB	12,842 cC	10,343 cC
<i>E. grandis</i>	142,866 aA	90,893 aB	90,526 aB	48,174 aC
<i>A. glazioviana</i>	24,177 dA	15,742 dB	15,370 cB	9,780 cC

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey; Valores entre parênteses são as porcentagens de biomassa que cada compartimento apresenta nas diferentes espécies.

O crescimento inicial inferior em biomassa da *A. glazioviana* em relação às demais espécies, tanto nos períodos como nos espaçamentos, observados nas TABELAS 3 e 4, 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 biomassa de galho nos espaçamentos menos adensados (2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m), sendo esses superiores aos encontrados para biomassa de madeira, nos mesmos espaçamentos (TABELA 4). Essa variação é influenciada principalmente pela maior área útil disposta nos espaçamentos menos adensados para o desenvolvimento da copa.

No 5º ano após o plantio, a espécie *E. grandis*, confirmando os resultados no 1º e 3º ano apresentou os maiores valores médios de biomassa total (325,150 ton ha<sup>-1</sup>; 286,590 ton ha<sup>-1</sup>; 280,167 ton ha<sup>-1</sup> e 234,009 ton ha<sup>-1</sup>), seguido pela *A. mearnsii* (239,317 ton ha<sup>-1</sup>; 119,478 ton ha<sup>-1</sup>; 93,134 ton ha<sup>-1</sup> e 79,782 ton ha<sup>-1</sup>), *M. scabrella* (53,381 ton ha<sup>-1</sup>; 49,956 ton ha<sup>-1</sup>; 29,196 ton ha<sup>-1</sup> e 29,766 ton ha<sup>-1</sup>) e *A. glazioviana* (32,086 ton ha<sup>-1</sup>; 23,888 ton ha<sup>-1</sup>; 30,364 ton ha<sup>-1</sup> e 19,945 ton ha<sup>-1</sup>) para os quatro espaçamentos: 2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, respectivamente, como pode ser observado na TABELA 5.

Os valores médios da biomassa produzida neste trabalho são inferiores aos relatados na literatura com povoamentos com outras idades. Lima *et al.* (2011), encontraram uma produtividade média da biomassa do fuste de *E. benthamii* de 416 ton ha<sup>-1</sup>, aos 6 anos de idade. Já Brito *et al.* (1983) citaram valores para o *E. saligna* de 405,6 ton ha<sup>-1</sup> e para o *E. grandis* (518,2 ton ha<sup>-1</sup>) aos 10 anos.

Observou-se que os espaçamentos de plantio testados, conduziram a diferentes produções de biomassa dos diferentes compartimentos da parte aérea das plantas no 3º ano após o plantio. De uma maneira geral, verificou-se que as maiores contribuições em biomassa nos diferentes compartimentos tiveram a seguinte ordem madeira>galho>folha>casca (TABELA 5). Resultados semelhantes foram observados com *Eucalyptus* spp. por Leles (1995), Barichello *et al.* (2005).

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DE BIOMASSA DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA E TOTAL (ton ha<sup>-1</sup>), DAS ESPÉCIES FLORESTAIS DISTRIBUÍDAS NOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS, CINCO 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
Biomassa de madeira				
<i>A. mearnsii</i>	143,111 bA (59,8%)	79,935 bB (66,9%)	46,690 bC (50,1%)	55,032 bC (69,0%)
<i>M. scabrella</i>	38,965 cA (73,0%)	37,178 cA (74,4%)	19,914 cB (68,2%)	17,071 cB (57,4%)
<i>E. grandis</i>	279,016 aA (85,1%)	244,275 aB (85,2%)	228,725 aC (81,6%)	190,086 aD (81,2%)
<i>A. glazioviana</i>	24,712 dA (77,0%)	15,498 dAB (64,9%)	22,041 cA (72,6%)	13,356 cAB (67,0%)
Biomassa de casca				
<i>A. mearnsii</i>	10,565 aA (4,4%)	4,870 bB (4,1%)	3,325 bD (3,6%)	4,172 bC (5,2%)
<i>M. scabrella</i>	3,373 bA (6,3%)	3,314 cA (6,6%)	2,124 cB (7,3%)	1,689 cB (5,7%)
<i>E. grandis</i>	11,067 aA (3,4%)	9,991 cA (3,5%)	10,635 aAB (3,8%)	10,167 aBC (4,3%)
<i>A. glazioviana</i>	1,804 cA (5,7%)	1,148 dBC (4,8%)	1,738 cAB (5,7%)	1,017 dC (5,0%)
Biomassa de galho				
<i>A. mearnsii</i>	60,690 aA (25,4%)	24,449 aC (20,5%)	34,155 aB (36,7%)	14,031 bD (17,6%)
<i>M. scabrella</i>	8,052 cA (15,1%)	7,404 cA (14,8%)	5,944 cB (19,2%)	9,258 cA (31,1%)
<i>E. grandis</i>	19,021 bA (5,8%)	18,152 bA (6,3%)	22,195 bA (7,9%)	19,614 aA (8,4%)
<i>A. glazioviana</i>	5,556 cA (17,3%)	7,242 cA (30,3%)	6,585 cA (21,7%)	5,572 cA (28,0%)
Biomassa de folha				
<i>A. mearnsii</i>	24,951 aA (10,4%)	10,224 bB (8,6%)	8,964 bB (9,6%)	6,547 bC (8,2%)
<i>M. scabrella</i>	2,991 cA (5,6%)	2,060 cA (4,1%)	1,564 cA (5,4%)	1,748 cA (5,9%)
<i>E. grandis</i>	16,046 bB (4,9%)	14,172 aC (4,9%)	18,612 aA (6,6%)	14,142 aC (6,0%)
Biomassa total				
<i>A. mearnsii</i>	239,317 bA	119,478 bB	93,134 bC	79,782 bC
<i>M. scabrella</i>	53,381 cA	49,956 cA	29,196 cB	29,7666 cB
<i>E. grandis</i>	325,150 aA	286,590 aB	280,167 aB	234,009 aC
<i>A. glazioviana</i>	32,086 dA	23,888 dAB	30,364 cA	19,945 cB

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey; Valores entre parênteses são as porcentagens de biomassa que cada compartimento apresenta nas diferentes espécies.

A partir da análise das médias de biomassa aérea do 1º (TABELA 3) e 3º ano (TABELA 4) após o plantio, observou-se uma relação direta da densidade de plantio com a distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos das plantas 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. Esta característica também foi observada para a biomassa total do *E. grandis* e *A. mearnsii* no 5º ano (TABELA 5). Já para as demais espécies não foi verificada uma tendência sistemática positiva ou negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelo espaçamento.

Na FIGURA 2 estão apresentados os modelos significativos para a produção de biomassa das quatro espécies florestais, ao longo dos três períodos avaliados. De modo geral, observa-se uma tendência crescente desta característica em relação aos diferentes anos avaliados, principalmente para a biomassa de madeira e biomassa total.

Os resultados apresentados são corroborados por uma série de autores que desenvolveram trabalhos relacionados a influência da densidade e idade do 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, Bernardo (1995), 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, sendo 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).

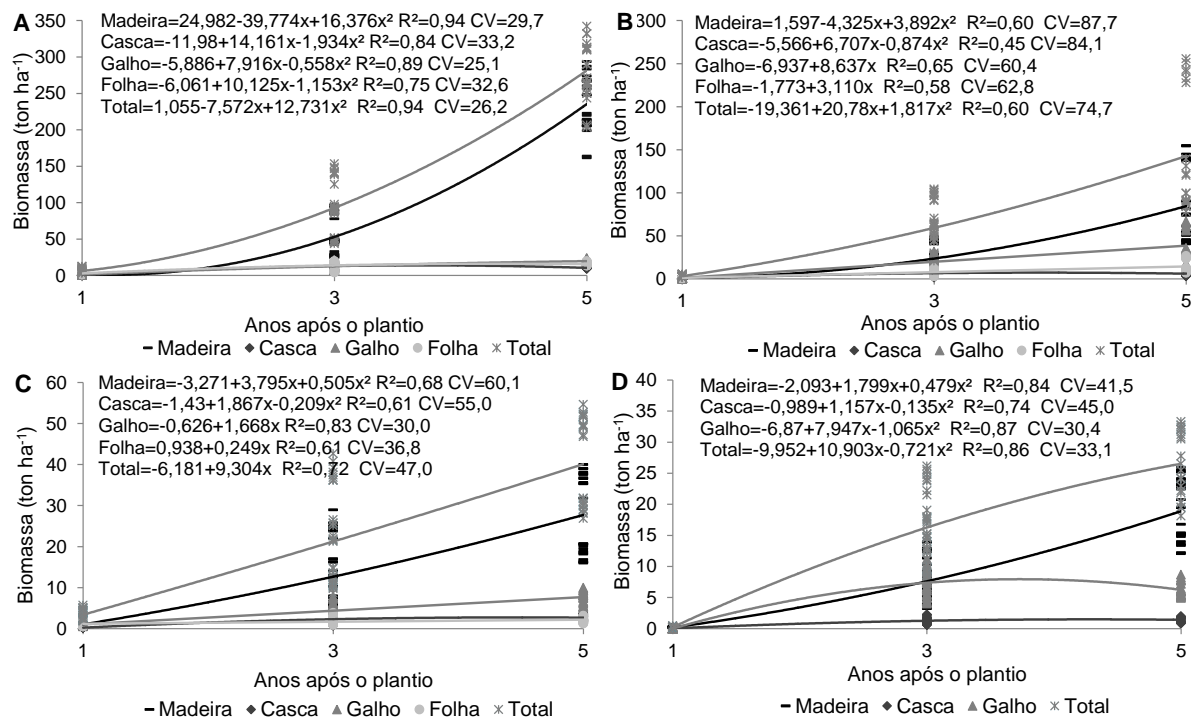


FIGURA 2 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA DA MADEIRA, BIOMASSA DA CASCA, BIOMASSA DO GALHO, BIOMASSA DA FOLHA E BIOMASSA TOTAL (ton ha<sup>-1</sup>), DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS: *Eucalyptus grandis* (A), *Acacia mearnsii* (B), *Mimosa scabrella* (C) E *Ateleia glazioviana* (D), DISTRIBUÍDAS NOS QUATRO ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

### 3.4 CONCLUSÃO

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

A diferenciação entre as espécies ocorre quanto à produção de biomassa, sendo que as de maior destaque foram *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*, seguido da *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*.

A contribuição em biomassa dos diferentes compartimentos, de uma maneira geral, concentra-se principalmente na madeira e nos galhos, seguido da folha e da casca.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J. 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.
- BALLONI, E. A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 558-592, 1983.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento do plantio e suas implicações silviculturais**. Piracicaba: IPEF, Série Técnica, n. 3, 1980. 16 p.
- BARICHELO, 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**. 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.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 53-56, 1983.
- 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**. 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.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L. V.; BUSANELLO, C. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 eds. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

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.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; BARROS, N. F. de. 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.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAES, E. J. 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. 133 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. 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.

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.

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**. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. 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.

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

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.; 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.

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

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

SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P. 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.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, T. M.; LEITE, N. B. **Formação, manejo e exploração de florestas de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131 p.

## 4 CAPÍTULO 2 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DO *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN

### RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas de diferentes compartimentos da biomassa da espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, distribuída em diferentes espaçamentos: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio. 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. Foram determinadas as variáveis biomassa (BIO), poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ME), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), teor de material volátil (MV) e teor de cinzas (CZ). As diferentes idades proporcionaram um efeito significativo de todas as variáveis analisadas, sendo que no 5º ano após o plantio, são verificados os maiores valores de BIO, PE, ME, DE e CF. Os diferentes espaçamentos de plantio induziram diferentes produções de BIO e PE, com uma tendência de redução dos seus valores com o aumento do espaçamento de plantio, em todos os períodos avaliados. Os diferentes compartimentos das árvores influenciam significativamente nas variáveis BIO, PCS, PE, CF, MV e CZ.

Palavras-chave: Eucalipto, biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética.

EFFECT OF AGE AND PLANT SPACING IN THE ENERGY PROPERTIES OF  
*Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of age and plant spacing in the energy properties of the different compartments of biomass: wood, bark, branch, and leaf of the species *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, distributed at different spacings: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m on the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> year after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications. The following variables were determined: biomass (BIO), gross calorific value (PCS), specific gravity (ME), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), content of volatile material (MV), and ash content (CZ). The different ages provided a significant effect of all variables analyzed, being that in the 5<sup>th</sup> year after planting, higher values for BIO, PE, ME, DE, and CF are verified. The different plant spacings induced different productions of BIO and PE, with a tendency of values reduction with the raise in plant spacing in all evaluated periods. The different tree compartments significantly influence in BIO, PCS, PE, CF, MV, and CZ variables.

Key-words: *Eucalyptus*, biomass, gross calorific value, specific gravity, immediate chemical analysis, energy productivity, energy density.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade está intimamente associado ao aumento do consumo energético e ao uso racional das diversas fontes de energia. 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.

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 (SILVA *et al.*, 2012); tornando, dessa forma, promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia.

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 70 com as crises do petróleo em 1973 e 1979 (MÜLLER, 2005; VIEIRA, 2011; ELOY, 2013). Nesta ocasião, a biomassa passou a ser considerada como alternativa viável para atendimento às demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte. No Brasil, em 1940, aproximadamente 80% da energia consumida era proveniente da madeira. Em 1970, esse percentual se reduziu para 45% e em 2013 para 8,3% (BRASIL, 2014). 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.

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, subsidiando desse modo, à tomada de decisão para a execução dos plantios florestais (MOREIRA, 2011).

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. Dessa forma, torna-se essencial a

existência de experimentos florestais estabelecidos em que se conheçam as condições originais de sítio, 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.

Um dos principais fatores que afetam a formação das florestas é o espaçamento praticado no plantio, pois o mesmo 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, 2013). Assim, quando se tem como objetivo a produção madeireira para fins energéticos, normalmente recomendam-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista a produção de um maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, da espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

## 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.2.1 Caracterização da área de 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, ou seja, subtropical úmido com temperatura média anual de 19,1°C, variando com máxima de 38° C e mínimo de 0° C, apresentando uma precipitação média anual de

1606 mm. 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 uma temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio de 13,3 °C.

O experimento foi avaliado utilizando o delineamento experimental de blocos completos casualizados. Os blocos foram caracterizados por um fatorial 3x4x4, ou seja, três períodos (1º, 3º e 5º ano após o plantio), quatro espaçamentos de plantio (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m) e quatro compartimentos das árvores (madeira, casca, galho e folha) em três repetições. O bloco contempla 16 unidades experimentais, sendo que cada uma apresenta 45 plantas distribuídas em 5 linhas de plantio.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, profundo bem drenado, pertencente a unidade de mapeamento de Passo Fundo (EMBRAPA, 2006). A área do experimento esta em uma região de baixada, apresentando solo considerado bom de deposição. No seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de subsolagem e gradagem. O plantio foi realizado de forma manual, com posterior adubação NPK de 150 gramas por muda, em setembro de 2008.

#### 4.2.2 Amostragem

As avaliações destrutivas nas árvores, foram realizadas em três períodos diferentes, no 1º ano (2009), 3º ano (2011) e 5º ano (2013) após o plantio do experimento, onde foram avaliadas 36 árvores por período. Dessas, foram retirados seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições ao longo do fuste: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% 75% e 100% 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 da UFSM onde foram marcados, separadas a casca

da madeira, e posteriormente, seccionadas duas cunhas simetricamente opostas 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 extensão 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, folha e galho foram secas a  $103 \pm 2$  °C até massa constante, para determinação do teor de umidade.

#### 4.2.3 Biomassa (BIO)

A determinação de BIO segue os procedimentos descritos no item 3.2.3.

#### 4.2.4 Poder calorífico superior (PCS)

Para a determinação do PCS dos diferentes compartimentos das árvores, foram utilizados os materiais obtidos na amostragem, sendo estes moídos em moinho de facas, com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material mais fino e uniforme.

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), utilizando bomba calorimétrica digital modelo C5000 Cooling System, IKA Werke, com princípio de funcionamento adiabático, de acordo com a norma técnica NBR 8633 (ABNT, 1984).

O PCS da madeira e casca em cada posição relativa do fuste foi determinado pela média dos valores das duas cunhas. Em seguida, calculou-se PCS ponderado em função da massa seca total de cada fuste. Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de PCS obtida em cada posição relativa, com as massas das biomassas de madeira e casca correspondentes entre duas posições

sucessivas, com a massa total da árvore. Assim, o PCS ponderado foi definido pela seguinte expressão:

$$PCS_{Pond} = \frac{\frac{(PCS_{0\%} + PCS_{DAP})}{2} P_1 + \frac{(PCS_{DAP} + PCS_{25\%})}{2} P_2 + \frac{(PCS_i + PCS_{i+1})}{2} P_i}{P_t} \quad (1)$$

Em que:

$PCS_{Pond}$  = poder calorífico superior ponderado em função do peso do fuste ( $\text{kcal kg}^{-1}$ );

$PCS_{i^r}$  = poder calorífico superior na posição “i” ( $\text{kcal kg}^{-1}$ );

$P_1, P_2, P_i$  = massa seca da biomassa correspondente a duas posições sucessivas (kg);

$P_t$  = massa total da árvore (kg).

#### 4.2.5 Massa específica básica (ME)

Para a determinação da ME da madeira foram utilizados os materiais obtidos na amostragem. Os procedimentos realizados para esta avaliação foram realizados de acordo com a norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003). As cunhas de madeira foram submersas em água, onde permaneceram até atingirem a saturação. Para a obtenção da ME de cada cunha, determinou-se o volume verde utilizando o método hidrostático e a massa seca, que foi resultante das amostras que permaneceram em estufa a  $103 \pm 2$  °C até peso constante, utilizando a seguinte expressão:

$$ME = \frac{M_o}{V_s} \quad (2)$$

Em que:

ME = massa específica básica da madeira ( $\text{g cm}^{-3}$ );

$M_o$  = massa seca (g);

$V_s$  = volume saturado ( $\text{cm}^3$ ).

A ME 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 ( $ME_{pond}$ ) em função do volume total sem casca de cada árvore, em  $g\ cm^{-3}$ . Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de ME obtidos em cada posição relativa e os volumes sem casca correspondentes entre duas posições sucessivas com o volume total sem casca da árvore, em  $m^3$ , definido pelo método de Smalian (FINGER, 2002). Assim, a  $\rho_{b\ pond}$  da madeira foi definida pela seguinte expressão:

$$ME_{pond} = \frac{\frac{(ME_{0\%} + ME_{DAP})}{2} v_1 + \frac{(ME_{DAP} + ME_{25\%})}{2} v_2 + \frac{(ME_i + ME_{i+1})}{2} v_i}{v_s} \quad (3)$$

Em que:

$ME_{pond}$  = massa específica básica ponderada em função do volume da árvore ( $g\ cm^{-3}$ );

$ME_i$  = massa específica básica na posição "i" ( $g\ cm^{-3}$ );

$v_1, v_2, v_i$  = volume sem casca correspondente a duas posições sucessivas ( $m^3$ );

$v_s$  = volume total sem casca da árvore ( $m^3$ ).

#### 4.2.6 Análise química imediata (AQI)

Para a determinação da AQI dos diferentes compartimentos das árvores, foram utilizados os materiais obtidos na amostragem, sendo estes moídos em moinho de facas, com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material mais fino e uniforme.

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade

Federal do Paraná (UFPR), de acordo com a norma técnica NBR 8112 (ABNT, 1986), em que se obtiveram os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo.

#### 4.2.7 Produtividade energética (PE)

A PE foi obtida em função da multiplicação da biomassa seca de cada compartimento, com os seus respectivos poder calorífico superior, conforme a seguinte expressão:

$$PE = \text{BIO} * \text{PCS} \quad (4)$$

Em que:

PE = Produtividade energética ( $\text{Gcal ha}^{-1}$ );

BIO = Biomassa seca de cada compartimento ( $\text{ton ha}^{-1}$ );

PCS = Poder calorífico superior ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ).

#### 4.2.8 Densidade energética (DE)

A densidade energética foi obtida em função da multiplicação dos valores da massa específica básica da madeira e do poder calorífico superior da madeira, conforme a seguinte expressão:

$$DE = \text{ME} * \text{PCS} \quad (5)$$

Em que:

DE = Densidade energética ( $\text{kcal m}^{-3}$ );

ME = Massa específica básica da madeira em função do volume da árvore ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

PCS = Poder calorífico superior da madeira ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ).

#### 4.2.9 Análise dos dados

A análise dos dados segue os procedimentos descritos no item 3.2.4.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa entre os três períodos estudados e entre os quatro compartimentos das árvores, para todas as variáveis analisadas. Da mesma forma, observou-se esta característica entre os quatro espaçamentos de plantio para as variáveis BIO e PE (TABELA 6).

Quando analisadas as interações entre os três fatores testados, foi observado efeito significativo entre ano x compartimento para todas as variáveis analisadas. Já para espaçamento x compartimento, relata-se esta característica somente para BIO, PE, CF e MV. Da mesma forma, para a interação ano x espaçamento, observa-se diferença para BIO, PE e CF. Sendo que para a interação tripla ano x espaçamento x compartimento, esta característica foi verificada somente para as variáveis BIO, PE e CF (TABELA 6). Assim, relata-se que existe dependência entre os efeitos avaliados e, portando, realizou-se o desdobramento sendo avaliado um feito em relação ao outro.

No 1º ano de avaliação, a BIO e PE não apresentaram diferença significativa entre os diferentes compartimentos das árvores. Já para o PCS e CF observou-se diferença, sendo que a folha apresentou os maiores valores médios que variaram de 4679 a 5013 kcal kg<sup>-1</sup> e 18,29 a 19,83 %, respectivamente, entre os diferentes espaçamentos de plantio. De forma semelhante, foi verificada esta mesma variação para o CZ e MV nos compartimentos casca e madeira, respectivamente. Já para a ME e a DE da madeira variaram entre os espaçamentos de 0,382 a 0,391 g cm<sup>-3</sup> e 1,699 a 1,770 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 7).

TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

FV	GL	Quadrado Médio			
		BIO	PE	PCS	CF
E	3	3907,99*	70489,22*	6040,67 <sup>ns</sup>	4,13 <sup>ns</sup>
C	3	174049,24*	3438341,34*	6854831,97*	92,72*
E x C	9	2210,47*	39217,69*	2195878 <sup>ns</sup>	14,13*
B	2	11,1 <sup>ns</sup>	136,1 <sup>ns</sup>	17979,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>
Erro A	30	47,7	1282,7	33461,7	2,4
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	124955,48*	2513726,60*	261174,02*	160,44*
A x E	6	887,31*	16254,92*	22986,08 <sup>ns</sup>	9,72*
A x C	6	93950,14*	1897020,07*	77045,40*	25,01*
A x E x C	18	691,27*	12163,76*	37741,36 <sup>ns</sup>	8,99*
Erro B	302	24,2	514,9	19651,8	3,7
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,99	0,99	0,95	0,83
CV (%)		19,1	20,3	3,2	10,5

FV	GL	Quadrado Médio			
		MV	CZ	ME	DE
E	3	8,25 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>
C	3	473,57*	146,51*	-	-
E x C	9	18,01*	0,18 <sup>ns</sup>	-	-
B	2	6,6 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	-	-
Erro A	30	5,2	0,4	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	212,80*	5,06*	0,005*	0,112*
A x E	6	9,02 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
A x C	6	42,62*	2,81*	-	-
A x E x C	18	7,95 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-	-
Erro B	302	9,1	0,4	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,82	0,94	0,35	0,64
CV (%)		3,8	20,3	5,9	5,2

Em que: FV=Fator de variação; GL=Grau de liberdade; A=Ano; E=Espaçamento; C=Compartimento; B=Bloco; R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de variação; \*=significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

TABELA 7 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	2,759 aA	1,801 aAB	1,059 aB	0,739 aB
	Casca	0,387 bA	0,261 aB	0,175 aC	0,160 aC
	Galho	2,376 aA	1,425 aAB	1,090 aB	0,996 aB
	Folha	4,663 aA	2,533 aB	2,297 aB	1,929 aB
	Total	10,185 A	6,020 B	4,621 C	3,824 D
PE	Madeira	12,496 aA	8,240 aA	4,681 aB	3,212 aB
	Casca	1,473 aA	0,996 aA	0,689 aA	0,618 aA
	Galho	10,376 aA	6,326 aAB	4,820 aB	4,322 aB
	Folha	21,818 aA	12,120 aB	10,798 aB	9,670 aB
PCS	Madeira	4529 ab	4575 ab	4420 b	4346 b
	Casca	3805 c	3817 c	3937 c	3864 c
	Galho	4367 b	4439 b	4422 b	4339 b
	Folha	4679 a	4785 a	4701 a	5013 a
CF	Madeira	17,99 ab	12,69 c	15,32 b	15,16 b
	Casca	15,38 b	16,40 b	19,65 a	16,68 ab
	Galho	16,86 ab	14,73 bc	14,83 b	15,41 b
	Folha	18,20 a	18,70 a	19,83 a	18,77 a
MV	Madeira	80,96 ab	83,28 a	83,74 a	83,42 a
	Casca	76,47 c	76,43 b	74,48 b	75,62 b
	Galho	78,85 bc	83,56 a	81,98 a	82,80 a
	Folha	82,26 a	78,41 b	75,80 b	77,55 b
CZ	Madeira	1,23 d	0,99 d	1,21 d	1,12 d
	Casca	6,83 a	6,87 a	6,17 a	6,50 a
	Galho	3,00 c	2,05 c	2,70 c	2,26 c
	Folha	4,34 b	3,79 b	4,42 b	4,17 b
ME	Madeira	0,382	0,387	0,390	0,391
DE	Madeira	1,730	1,770	1,724	1,699

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

No 3º ano de avaliação, os maiores valores de BIO foram observados no compartimento madeira nos menores espaçamentos de plantio, que variaram de 47,636 a 90,988 ton ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, esta característica foi observada para a PE para o mesmo compartimento. Os maiores valores médios de PCS foram relatados para o compartimento folha, que variaram de 4775 a 4869 kcal kg<sup>-1</sup>. No entanto, a casca apresentou os menores PCS para todos os espaçamentos, que variaram de 3500 a 3874 kcal kg<sup>-1</sup>. Da mesma forma, a ME e a DE variaram entre os espaçamentos de 0,365 a 0,384g cm<sup>-3</sup> e 1,582 a 1,661 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 8).

Assim como verificado no 3º ano de avaliação, no 5º ano a produção de BIO e a PE da madeira foram superiores estatisticamente aos demais compartimentos das árvores. Estes variaram de 190,086 a 279,016 ton ha<sup>-1</sup> e 871,734 a 1233,530 Gcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação aos espaçamentos de plantio. Da mesma forma que nos dois períodos anteriores, no 5º ano de avaliação os maiores PCS médios foram observados no compartimento folha, valores estes que variaram de 4951 a 5055 kcal kg<sup>-1</sup>. Já para o compartimento casca, relata-se de uma maneira geral, os menores valores médios desta variável, que variaram de 3752 a 4032 kcal kg<sup>-1</sup> (TABELA 9).

Para o CF, de um modo geral, relatou-se os maiores valores médios para o compartimento casca, que variaram de 19,90 a 22,10 %, sendo que os menores valores foram observados para o galho, de 18,57 a 19,19 %, que foi inferior significativamente dentro de cada espaçamento para a maioria dos demais compartimentos. Em contrapartida, para o MV os maiores valores médios foram relatados no compartimento madeira, que variaram de 80,00 a 80,65 %, sendo superior estatisticamente a casca e folha em todos os espaçamentos, e os menores valores estiveram presentes nos compartimentos casca e folha (TABELA 9).

Observou-se que os quatro espaçamentos de plantio e as três idades testadas, conduziram a diferentes produções de BIO e PE dos quatro diferentes compartimentos da parte aérea das árvores. Assim, verificou-se que as maiores contribuições em biomassa nos diferentes compartimentos apresentam a seguinte ordem, madeira>galho>folha>casca (TABELA 9). Resultados semelhantes foram observados com *Eucalyptus* spp. por Barichello *et al.* (2005).

TABELA 8 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	90,988 aA	47,636 aB	46,888 aB	27,461 aC
	Casca	16,284 bA	15,553 bB	13,536 bB	6,998 bC
	Galho	18,140 bA	11,772 bB	13,319 bC	8,130 bD
	Folha	17,454 bA	15,932 bC	16,783 bB	5,585 bD
	Total	142,866 A	90,893 B	90,526 B	48,174 C
PE	Madeira	392,340 aA	205,645 aB	190,834 aB	118,632 aC
	Casca	61,521 cA	56,100 bcB	52,438 cC	24,493 bD
	Galho	81,938 bA	51,514 cC	58,763 cB	35,853 bD
	Folha	84,285 bA	76,553 bB	81,716 bA	26,668 bC
PCS	Madeira	4312 b	4317 b	4070 c	4320 b
	Casca	3778 c	3607 c	3874 c	3500 c
	Galho	4517 b	4376 b	4412 b	4410 b
	Folha	4829 a	4805 a	4869 a	4775 a
CF	Madeira	14,91 b	15,81 b	15,25 b	14,36 b
	Casca	19,02 a	20,98 a	19,09 a	18,74 a
	Galho	15,93 b	16,50 b	15,87 b	14,82 b
	Folha	20,36 a	21,75 a	16,96 b	16,64 ab
MV	Madeira	83,23 a	83,76 a	84,46 a	84,53 a
	Casca	75,29 b	77,95 b	77,74 b	77,15 b
	Galho	83,17 a	83,91 a	81,60 a	83,58 a
	Folha	75,83 b	78,27 b	77,87 b	77,88 b
CZ	Madeira	0,84 c	0,74 c	0,67 c	0,65 c
	Casca	4,75 a	3,97 a	4,00 a	4,51 a
	Galho	2,13 b	2,28 b	2,28 b	1,96 b
	Folha	4,14 a	4,75 a	4,71 a	4,75 a
ME	Madeira	0,367	0,371	0,365	0,384
DE	Madeira	1,582	1,590	1,591	1,661

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 9 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	279,016 aA	244,275 aB	228,725 aC	190,086 aD
	Casca	11,067 bcA	9,991 cA	10,635 cAB	10,167 cBC
	Galho	19,021 bA	18,152 bA	22,195 bA	19,614 bA
	Folha	16,046 bcB	14,172 bcC	18,612 bA	14,142 bcC
	Total	325,150 A	286,590 B	280,167 B	234,009 C
PE	Madeira	1233,530 aA	1104,367 aB	1009,821 aC	871,734 aD
	Casca	42,210 cA	40,284 cA	39,903 cA	39,895 cA
	Galho	84,853 bBC	79,252 bC	97,192 bA	86,949 bB
	Folha	81,113 bB	70,744 bC	93,563 bA	70,017 bC
PCS	Madeira	4421 b	4521 b	4415 b	4586 b
	Casca	3814 c	4032 c	3752 c	3924 c
	Galho	4461 b	4366 b	4379 b	4433 b
	Folha	5055 a	4992 a	5027 a	4951 a
CF	Madeira	19,50 ab	19,38 ab	20,02 a	19,44 ab
	Casca	21,91 a	22,10 a	20,80 a	19,90 ab
	Galho	18,72 b	18,57 b	18,96 b	19,19 b
	Folha	20,54 a	21,90 a	19,78 ab	21,26 a
MV	Madeira	80,30 a	80,65 a	80,00 a	80,32 a
	Casca	72,18 c	72,00 c	75,05 b	73,84 c
	Galho	78,14 ab	78,08 ab	77,71 b	77,99 b
	Folha	74,22 bc	73,33 c	74,84 b	73,77 c
CZ	Madeira	0,62 c	0,58 c	0,63 c	0,68 b
	Casca	5,58 a	5,65 a	4,63 a	4,90 a
	Galho	2,76 b	2,54 b	2,87 b	2,58 b
	Folha	4,87 a	5,08 a	5,05 a	5,34 a
ME	Madeira	0,390	0,417	0,392	0,401
DE	Madeira	1,724	1,885	1,731	1,839

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

A partir da análise da BIO dos diferentes compartimentos das árvores em relação aos quatro espaçamentos de plantio, observou-se uma relação direta da densidade de plantio com a biomassa de cada compartimento. Ou seja, nos

tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores valores de BIO quando comparados com os espaçamentos menos adensados. Para 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. Esta característica também foi observada para a PE em relação aos diferentes espaçamentos de plantio.

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. No entanto, Müller *et al.* (2005) 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 e, que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas.

Na FIGURA 3, estão apresentadas as equações de regressão significativas dos diferentes compartimentos, ao longo dos três períodos, para todas as variáveis avaliadas. De modo geral, observou-se uma tendência crescente dos compartimentos, principalmente da madeira nas variáveis BIO e PE, em relação aos diferentes anos avaliados, sem tendência a estabilização, visto que os diferentes anos avaliados influenciaram significativamente na produção dos diferentes compartimentos das árvores.

Os valores observados neste trabalho foram menores aos encontrados na literatura com povoamentos com idades diferentes. Lima *et al.* (2011), relatam uma produtividade média da biomassa do fuste de *E. benthamii* de 416 ton ha<sup>-1</sup>, aos 6 anos de idade. Já Brito *et al.* (1983) citaram valores para o *E. saligna* de 405,6 ton ha<sup>-1</sup> e para o *E. grandis* (518,2 ton ha<sup>-1</sup>) aos 10 anos. No entanto, são corroborados por uma série de autores que desenvolveram vários trabalhos relacionados a influência do espaçamento de plantio e idade do povoamento na produção de povoamentos florestais, encontrando diferença na distribuição de biomassa entre as espécies e para a mesma espécie. Dentre esses, pode-se citar os desenvolvidos por Müller *et al.* (2005).

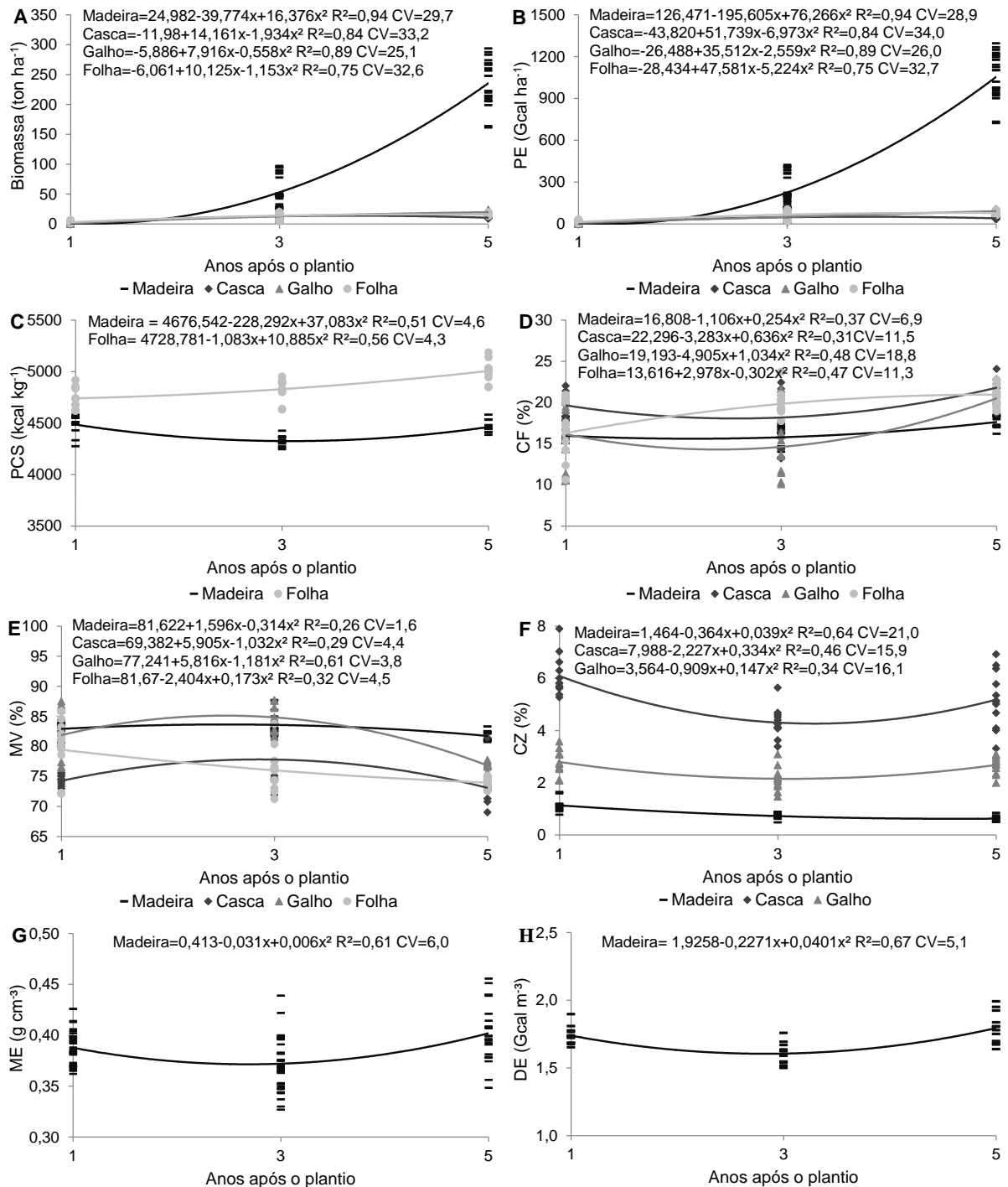


FIGURA 3 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Os valores médios de PCS encontrados para *E. grandis* estão de acordo com os relatados na literatura. Em estudos realizados por Pereira *et al.* (2000) e Vale *et al.* (2000) verificaram os valores médios de 4340 e 4641 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Assim como Hofler *et al.* (2010), que mencionaram o PCS para clones de *Eucalyptus* com 3, 5 e 7 anos de idade, respectivamente iguais a 3348, 4529 e 4378 kcal kg<sup>-1</sup>. Da mesma forma, Quirino *et al.* (2005) ao realizar um levantamento bibliográfico referente ao PCS da madeira de 258 espécies florestais tropicais exóticas e nativas, relataram que os valores de PCS foram em média de 4710 kcal kg<sup>-1</sup>, variando de 3831 a 5324 kcal kg<sup>-1</sup>.

Santana (2009) verificou que o PCS, foi pouco influenciado pela idade, não podendo constatar uma tendência definida. O mesmo autor cita que fatores relacionados à composição estrutural da madeira influenciam positivamente seu potencial energético, principalmente no que diz respeito à constituição química e elementar. Em contrapartida, Lemenih e Bekele (2004), avaliando o efeito da idade no PCS da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus*, mencionam uma relação negativa com a idade da árvore, sendo pequena a diferença entre as idades de 11 e 21 anos. Resultados semelhantes foram relatados por Vidaurre *et al.* (2012) com *Schizolobium amazonicum*, em que observaram que a idade mais jovem apresentou os maiores valores de PCS, variando de 4454 a 4652 kcal kg<sup>-1</sup>, com tendência de redução com o aumento da idade da árvore. Já Gatto *et al.* (2008), apontaram para a relação positiva da idade entre as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira.

Os teores de MV e CF na madeira estão de acordo com Brito e Barrichello (1982), que delimitaram, de uma maneira geral, teores de MV que variam de 75% a 85% e de CF entre 15% a 25%. De acordo com esses autores, combustíveis com alto índice de CF têm queima mais lenta, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de CF.

Para Klautau (2008), o teor de MV interfere de forma positiva na ignição, pois quanto maior o seu valor, maior será a facilidade da ignição. Assim, determina a facilidade com que uma biomassa queima. A mesma, ao apresentar alto teor de MV, tem maior facilidade de incendiar e queimar e, embora o processo de combustão

seja rápido, é difícil de controlá-lo, além de poder afetar o processo de combustão em geral (VIEIRA *et al.*, 2013).

Para o mesmo autor, o teor de CF está relacionado à quantidade de CZ e MV, pois o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo as CZ e teores de umidade. O teor de CF depende principalmente do teor de MV, já que os teores de CZ, principalmente para madeira, são baixos. Desta forma, madeiras com maiores teores de MV tem menores teores de CF. Os valores encontrados neste trabalho seguem esta regra.

A avaliação da quantidade do teor de CZ é interessante para um produto energético, pois, quando está presente em alta concentração pode diminuir o PCS e causar perda da eficiência energética (VIEIRA *et al.*, 2013). O mesmo corresponde a substâncias que não entram em combustão ficando na forma sólida e são indesejáveis para uso energético, estando relacionado com a presença de minerais provenientes, em parte, da adubação química como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros (VALE *et al.*, 2011). Assim, uma característica comum entre espécies de *Eucalyptus* são os baixos teores de CZ da madeira, em geral abaixo de 1% (CHAVES *et al.*, 2013). Botrel *et al.* (2010), trabalhando com oito clones de *Eucalyptus*, encontraram teores de CZ variando de 0,11 a 0,25%.

Em relação a ME, os resultados observados neste trabalho estão dentro do intervalo que Quirino *et al.* (2005) relataram para 108 espécies florestais, que variaram de 0,200 a 1,080 g cm<sup>-3</sup>. Esses também corroboram com os observados por Eloy *et al.* (2013), que não encontraram efeito significativo do espaçamento na ME da madeira. No entanto, são divergentes dos encontrados por Pauleski (2010), que verificaram um aumento da ME com o aumento do espaçamento de plantio. Em contrapartida, Garcia *et al.* (1991) relataram uma diminuição da ME da madeira com o aumento do espaçamento em madeiras de *E. grandis* e *E. saligna*. Para Eloy *et al.* (2013) essas divergências de resultados podem ser decorrentes de diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos e diferentes condições ambientais, em função de diferentes idades.

Observa-se na FIGURA 3, que a ME apresenta diferença com o passar dos períodos avaliados. Esse resultado é corroborado por uma série de autores que estudaram esta característica tecnológica. Lima *et al.* (1992) estudando árvores matrizes de *E. grandis* com 8 anos de idade, evidenciaram que a média para essa

característica tecnológica foi igual a  $0,460 \text{ g cm}^{-3}$ . Já Trevisan *et al.* (2012) estudando a influência do desbaste em árvores centrais de *E. grandis* com idades de 4 a 18 anos, encontrou uma variação dos valores médios de ME de  $0,390$  a  $0,462 \text{ g cm}^{-3}$ , confirmando a existência de variabilidade dentro da espécie e entre as diferentes idades dos povoamentos.

Na FIGURA 3, estão apresentados os modelos significativos para a DE ao longo dos três períodos avaliados. De modo geral, observa-se que não ocorreu uma variação sistemática de aumento ou redução da DE ao longo do tempo, não podendo-se constatar uma tendência definida. Pois a mesma reduz do 1º para o 3º ano, e posteriormente a isso, volta a aumentar até o 5º ano, observando-se que os valores correspondentes ao 5º ano foram superiores aos anos anteriores.

A DE considera a energia contida num determinado volume de madeira, sendo que nesse trabalho foi mais influenciada pela ME do que pelo PCS que variou menos. Para Moreira *et al.* (2012), a ME e o PCS variam entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie de acordo com a sua idade. Justificando a variação relatada neste trabalho. Os mesmos autores verificaram valores de DE que variaram de  $0,944 \text{ Gcal m}^{-3}$  para as espécies *E. benthamii* e *E. grandis*, a  $1,459 \text{ Gcal m}^{-3}$  para *Corymbia citriodora*. Sendo inferiores aos relatados por Protásio *et al.* (2013) trabalhando com clones de *E. grandis* e *E. urophylla* aos 3,5 anos de idade que verificaram um valor de  $2,380 \text{ Gcal m}^{-3}$ . De forma semelhante, Neves *et al.* (2013) relataram para clones de *Eucalyptus* aos 4,5 e 5,6 anos, valores desta variável de  $2,051$  e  $2,084 \text{ Gcal m}^{-3}$ , respectivamente.

Resultados semelhantes de PE foram obtidos por Santana (2009) estudando as espécies *E. grandis* e *E. urophylla* em que relataram diferença entre idades e entre espaçamentos, sendo que os maiores valores estiveram presentes nas maiores idades e nos espaçamentos mais adensados. O mesmo autor relatou em povoamentos com 2,9 e 3,2 anos de idade com espaçamento de  $3,0 \times 2,8 \text{ m}$ , valores de  $198,31$  e  $363,44 \text{ Gcal ha}^{-1}$ , respectivamente. Já em povoamentos com 5,1 e 6,2 anos de idade, nos espaçamentos  $3,0 \times 3,0 \text{ m}$  e  $3,0 \times 2,0 \text{ m}$ , apresentou valores de  $520,76$  e  $623,15 \text{ Gcal ha}^{-1}$ , respectivamente. Sendo que em um plantio com 7,2 anos de idade, no espaçamento  $3,0 \times 2,5 \text{ m}$ , o mesmo autor relatou uma PE média de  $594,99 \text{ Gcal ha}^{-1}$ .

#### 4.4 CONCLUSÃO

As três idades induzem a um efeito significativo para todas as variáveis analisadas, sendo que no 5º ano após o plantio, é verificado os maiores valores de biomassa, produtividade energética, massa específica básica, densidade energética e teor de carbono fixo.

Nas diferentes idades, a biomassa e a produtividade energética da madeira são superiores aos demais compartimentos das árvores, sendo que as maiores contribuições em biomassa seguem a ordem madeira>galho>folha>casca.

Os quatro espaçamentos de plantio proporcionam diferentes produções de biomassa e produtividade energética, reduzindo os seus valores com o aumento do espaçamento de plantio, em todos os períodos avaliados.

Os quatro compartimentos das árvores influenciam significativamente nas propriedades energéticas da biomassa, poder calor superior, produtividade energética, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas.

Do ponto de vista energético, quanto maior a idade e menor o espaçamento de plantio, melhores são as propriedades energéticas da biomassa.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Determinação da densidade básica da madeira.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.

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.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S.C.S.; MOREIRA DE SILVA, J. R. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientias Forestales**, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2014:** ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. 288 p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. 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. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.

CHAVES, A. M. B. VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

ELOY E. Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M. L. B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 327 - 334, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 eds. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

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**, Circular Técnica, n. 179, p. 1-8, 1991.

GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; OLIVEIRA, L. S.; SANTINI, E. J. *Estimativa* da idade de segregação do lenho juvenil e adulto por meio de parâmetros anatômicos para madeira de *Luehea divaricata* Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.4, p.535-540, 2008.

HOFLE, J.; BIANCHI, M. L.; SOARES, V. C. Variação da composição química e poder calorífico da madeira de clones de *Eucalyptus* de diferentes idades. **33ª Reunião anual da sociedade brasileira de química.** Águas de Lindóia-SP. 2010.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos.** 192. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three *Eucalyptus* species grown in Ethiopia. **Biomass e Bioenergy**, v.27, p.223-232, 2004.

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.

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**, Bebedouro, v. 16, n. 1, p. 123-127. 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.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. **Comunicado Técnico Embrapa 293**, Colombo, p. 1-5, 2012.

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**. 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.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista Ciências Agrárias**, Recife, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

VIEIRA, E. H. F. **Produção de biomassa de *Eucalyptus spp.* sob diferentes manejos e espaçamentos**. 54 f. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais), Universidade Federal de Espírito Santo, Alegre, 2011.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. 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.

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

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2000, 113 p.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Sientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, 2013.

QUIRINO, W. F. VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

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.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 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.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. 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.

TREVISAN, R.; ELOY, E.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. O. 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.

VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético**. 111 f. Tese (Doutorado em Energia da Biomassa) - Universidade do Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2000.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*) **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel. v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

## 5 CAPÍTULO 3 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA *Acacia mearnsii* DE WILD

### RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas em diferentes compartimentos da biomassa da espécie *Acacia mearnsii* De Wild, distribuída em diferentes espaçamentos: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio. 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. Foram determinados a produção de biomassa (BIO), poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ME), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), material volátil (MV) e cinzas (CZ) dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha. O efeito da idade influenciou significativamente todas as variáveis analisadas, proporcionando uma distribuição crescente da BIO, PE, ME e DE, sem tendência a estabilização com tempo. Os quatro espaçamentos de plantio proporcionam diferentes produções de BIO, PE, PCS e ME, sendo que, o aumento do espaçamento, causou uma tendência de redução dos valores de BIO e PE em todos os períodos avaliados. A ME no 5º ano apesar de sofrer influência do espaçamento, não apresenta uma variação sistemática de aumento ou redução em função do espaço vital proporcionado. Os quatro compartimentos das árvores induzem a um efeito significativo nas variáveis BIO, PCS, PE, CF, MV e CZ.

Palavras-chave: Acácia-negra, biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética.

EFFECT OF AGE AND PLANT SPACING IN THE ENERGY PROPERTIES OF  
*Acacia mearnsii* DE WILD

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of age and plant spacing in the energy properties of the different biomass compartments of the species *Acacia mearnsii* De Wild, distributed at different spacings: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m at ages 1, 3 and 5 years after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications. The following variables were determined: biomass (BIO), gross calorific value (PCS), specific gravity (ME), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), content of volatile material (MV), and ash content (CZ) of the different compartments of biomass: wood, bark, branch, and leaf. The three different ages significantly influence all variables analyzed, allowing an increasing distribution of BIO, PE, ME and DE, with no tendency for stabilization throughout time. The four plant spacings induced different productions of BIO, PE, PCS and ME. Being that the raise in plant spacing promotes a tendency of values reduction in BIO and PE in all evaluated periods. The ME of the fifth year, despite influenced by the spacing, shows no systematic variation of growth or reduction in relation to the given vital space. The four tree compartments induce a significative effect in BIO, PCS, PE, CF, MV, and CZ variables.

Key-words: Black wattle, biomass, gross calorific value, specific gravity, immediate chemical analysis, energy productivity, energy density.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a *Acacia mearnsii*, é uma espécie de grande importância econômica no sul do país, cuja extensão de seus povoamentos situa-se logo após os dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Conforme Simon (2005) esta espécie é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais em nível mundial, utilizados principalmente no curtimento de peles. Já a madeira apresenta qualidade para a produção de celulose e papel, que atualmente constitui seu principal destino. Esta espécie é cultivada em mais de 10 mil pequenas propriedades rurais, exercendo, importante papel socioeconômico (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Quando relacionamos materiais combustíveis, como é o caso da biomassa florestal como recurso energético, esse deve basear-se, entre outros, no conhecimento do seu poder calorífico superior, sendo essa uma das características mais importantes. Este consiste na quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa do material combustível, em  $\text{kcal kg}^{-1}$  (ÇENGEL; BOLES, 2006). Ele é obtido em bomba calorímetra 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 latente do vapor d'água, é recuperado (CINTRA, 2009). Silva *et al.* (2012) verificaram para a espécie *Acacia mearnsii* o valor de  $4482 \text{ kcal kg}^{-1}$ .

Para a avaliação da qualidade da madeira e definir sua melhor utilização é essencial a identificação das propriedades físicas e mecânicas que, conhecidamente, alteram o produto final. A massa específica básica representa a concentração da massa pelo volume da madeira, em  $\text{g cm}^{-3}$ , sendo que o seu estudo em diferentes espécies florestais torna-se de fundamental importância, por ser o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos (MATTOS *et al.*, 2011). 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 (ELOY *et al.*, 2013).

A análise química imediata de um combustível fornece os teores de material volátil, carbono fixo e cinza, resultando na porcentagem do material que se queima

no estado gasoso e no estado sólido, bem como dá uma indicação do material residual, respectivamente. Os combustíveis com alto índice de carbono fixo têm queima mais lenta, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima. Já o teor de cinzas, corresponde a substâncias que não entram em combustão ficando na forma sólida e são indesejáveis para uso energético, estando relacionado com a presença de materiais inorgânicos (VIEIRA *et al.*, 2013).

Como se sabe, o espaçamento e a idade de corte encontram-se intimamente relacionados, ou seja, plantios com maior densidade populacional, normalmente exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição entre plantas ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento do povoamento (ELOY *et al.*, 2010). Assim, quando se tem como objetivo a produção florestal para fins energéticos, normalmente recomendam-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista a produção de um maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas em diferentes compartimentos da biomassa da espécie *Acacia mearnsii* De Wild.

## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo, a amostragem, além das determinações de biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética, bem como a análise dos dados seguem os procedimentos descritos nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 3.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8 e 3.2.4, respectivamente.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa entre as três idades estudadas: 1, 3 e 5 anos e, entre os quatro compartimentos das árvores: madeira, casca, galho e folha, para todas as variáveis analisadas. Da mesma forma, observou-se esta característica entre os quatro espaçamentos de plantio para as variáveis BIO, PE, PCS e ME (TABELA 10).

Quando analisadas as interações entre os três fatores testados, foi observada diferença entre ano x compartimento para todas as variáveis analisadas. Já para espaçamento x compartimento, relata-se esta característica somente para BIO, PE e PCS. Da mesma forma, para a interação ano x espaçamento, observa-se diferença para BIO, PE, PCS e CZ. Sendo que para a interação tripla ano x espaçamento x compartimento, esta característica foi relatada somente para as variáveis BIO e PCS (TABELA 10).

No 1º ano de avaliação, a produção de BIO e a PE não apresentaram diferença significativa entre os diferentes compartimentos das árvores. Já para o PCS, observou-se nessa característica, sendo que a folha apresentou os maiores valores médios que variaram de 5141 a 5194 kcal kg<sup>-1</sup>, nos diferentes espaçamentos de plantio. Da mesma forma, para o CF e CZ o compartimento casca diferenciou-se dos demais, variando de 40,0 a 44,19 % e 4,86 a 5,44 %, respectivamente, sendo que, os valores médios para a madeira variam de 22,59 a 23,91% e 1,25 a 1,67%, respectivamente, para as mesmas variáveis. Em contrapartida, a casca apresentou os menores valores de MV, que variaram de 50,95 a 54,55 %, motivado principalmente pelos elevados valores de CF e CZ. Já para a madeira, observou-se os valores médios variaram de 74,84 a 75,83 %. De forma semelhante, a ME e a DE variaram entre os espaçamentos de 0,402 a 0,415 g cm<sup>-3</sup> e 1,816 a 1,896 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 11).

TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

FV	GL	Quadrado Médio			
		BIO	PE	PCS	CF
E	3	6498,38*	133769,67*	3260294*	24,75 <sup>ns</sup>
C	3	16636,90*	306817,93*	4194781,16*	1162,17*
E x C	9	1498,70*	27658,05*	25474,09*	10,27 <sup>ns</sup>
Bloco	2	4,4 <sup>ns</sup>	139,1 <sup>ns</sup>	1926,3 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>
Erro A	30	5,1	103,9	10490,9	9,9
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	25601,72*	519394,87*	249048,40*	287,10*
A x C	6	7519,19*	143981,17*	80207,66*	223,01*
A x E	6	2271,98*	46347,23*	40371,30*	12,41 <sup>ns</sup>
A x E x C	18	663,85*	12795,17 <sup>ns</sup>	16444,11*	15,15 <sup>ns</sup>
Erro B	286	3,6	73,1	8380,1	8,2
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,99	0,99	0,96	0,95
CV (%)		14,8	13,6	21,9	12,1

FV	GL	Quadrado Médio			
		MV	CZ	ME	DE
E	3	25,8 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,003*	0,031 <sup>ns</sup>
C	3	1561,43*	49,63*	-	-
E x C	9	10,45 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	-	-
Bloco	2	3,6 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-	-
Erro A	30	10,6	0,3	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	413,16*	8,72*	0,091*	0,786*
A x C	6	284,58*	5,64*	-	-
A x E	6	13,26 <sup>ns</sup>	0,26*	0,001 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>ns</sup>
A x E x C	18	14,78 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	-	-
Erro B	286	8,4	0,2	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,96	0,95	0,84	0,89
CV (%)		3,9	18,9	6,8	6,2

Em que: FV=Fator de variação; GL=Grau de liberdade; A=Ano; E=Espaçamento; C=Compartimento; B=Bloco; R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de variação; \*=significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

TABELA 11 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	2,118 aA	1,080 aAB	0,804 aAB	0,643 aB
	Casca	0,548 aA	0,232 aA	0,195 aA	0,088 aA
	Galho	1,351 aA	0,885 aA	0,652 aA	0,451 aA
	Folha	1,155 aA	0,919 aA	1,038 aA	0,779 aA
	Total	5,172 A	3,116 A	2,689 A	1,961 A
PE	Madeira	9,669 aA	4,931 aA	3,619 aA	2,881 aA
	Casca	2,676 aA	1,128 aA	0,935 aA	0,422 aA
	Galho	6,143 aA	4,112 aA	2,997 aA	2,117 aA
	Folha	5,954 aA	4,751 aA	5,336 aA	4,047 aA
PCS	Madeira	4565 cA	4566 cA	4501 cA	4481 cA
	Casca	4884 bA	4857 bA	4791 bA	4797 bA
	Galho	4547 cB	4646 cAB	4597 cAB	4694 bA
	Folha	5155 aA	5170 aA	5141 aA	5194 aA
CF	Madeira	22,59 b	23,84 b	23,91 b	22,5 b
	Casca	44,19 a	40,00 a	42,81 a	41,70 a
	Galho	18,92 b	19,26 bc	18,93 c	18,54 b
	Folha	18,89 b	18,54 c	18,14 c	21,34 b
MV	Madeira	75,76 a	74,87 a	74,84 a	75,83 a
	Casca	50,95 b	54,55 b	52,11 b	52,92 b
	Galho	78,75 a	78,24 a	78,44 a	79,69 a
	Folha	77,77 a	78,54 a	78,75 a	75,88 a
CZ	Madeira	1,64 c	1,28 c	1,25 c	1,67 c
	Casca	4,86 a	5,44 a	5,07 a	5,38 a
	Galho	2,32 c	2,49 b	2,63 b	1,76 c
	Folha	3,34 b	2,91 b	3,11 b	2,79 b
ME	Madeira	0,415 A	0,402 A	0,406 A	0,405 A
DE	Madeira	1,896	1,822	1,826	1,816

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 12 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	45,000 aA	24,584 aB	17,740 aC	7,293 bD
	Casca	14,200 cA	7,035 dB	3,310 cC	2,191 cD
	Galho	28,139 bA	21,733 bB	19,440 aC	13,502 aD
	Folha	10,799 dA	9,545 cB	9,259 b B	3,437 c C
	Total	98,138 A	62,897 B	49,749 C	26,423 D
PE	Madeira	192,690 aA	105,662 aB	75,768 bC	31,134 bD
	Casca	67,464 cA	31,742 dB	15,137 dC	9,949 dD
	Galho	130,199 bA	95,712 bB	86,527 aC	61,272 aD
	Folha	56,997 dA	48,431 cB	49,350 cB	18,536 cC
PCS	Madeira	4282 cA	4298 cA	4271 cA	4269 cA
	Casca	4751 bA	4512 bA	4573 bA	4541 bA
	Galho	4627 cA	4404 bB	4451 bB	4538 bAB
	Folha	5278 aAB	5074 aB	5330 aA	5393 aA
CF	Madeira	17,23 b	16,14 b	15,90 b	17,40 a
	Casca	30,22 a	30,43 a	20,05 ab	16,60 a
	Galho	22,43 b	16,37 b	18,48 b	15,47 a
	Folha	21,53 b	19,00 b	24,10 a	18,88 a
MV	Madeira	82,06 a	83,33 a	83,40 a	81,67 a
	Casca	66,82 c	67,24 b	76,30 bc	81,40 a
	Galho	75,18 b	82,14 a	79,63 ab	82,75 a
	Folha	75,99 b	78,30 a	73,23 c	78,19 a
CZ	Madeira	0,71 b	0,53 c	0,70 c	0,93 c
	Casca	2,96 a	2,33 ab	3,65 a	2,03 b
	Galho	2,38 a	1,49 b	1,89 b	1,78 b
	Folha	2,70 a	3,05 a	3,16 a	2,99 a
ME	Madeira	0,445 AB	0,418 B	0,466 A	0,447 AB
DE	Madeira	1,905	1,796	1,990	1,908

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

No 5º ano de avaliação, a produção de BIO e a PE da madeira foram superiores estatisticamente aos demais compartimentos das árvores. Estes variaram de 46,690 a 143,111 ton ha<sup>-1</sup> e 202,495 a 631,406 Gcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Da

mesma forma que nos dois períodos anteriores, no 5º ano de avaliação os maiores PCS médios foram observados no compartimento folha, valores estes que variaram de 5101 a 5245 kcal kg<sup>-1</sup>. Para o compartimento madeira, relata-se de uma maneira geral, os menores valores médios desta variável, que variaram de 4337 a 4443 kcal kg<sup>-1</sup> (TABELA 13).

Para o CF, relata-se os maiores valores médios para o compartimento casca, que variaram de 30,90 a 31,93 %, sendo que os menores valores foram observados no compartimento madeira, de 17,93 a 18,84 %. Em contrapartida, para o MV os maiores valores médios foram relatados no compartimento madeira, que variaram de 80,59 a 81,48 %, e os menores valores estiveram presentes no compartimento casca, de 64,24 a 65,14 %. Os maiores valores de CZ foram observados nos compartimentos casca e folha, que variaram de 3,56 a 3,96% e 3,99 a 4,38%, respectivamente. Já os menores valores médios, foram relatados para a madeira, de 0,59 a 0,73 %. Da mesma forma, as médias de ME e a DE variaram entre os espaçamentos de 0,500 a 0,566 g cm<sup>-3</sup> e 2,221 a 2,492 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 13).

Observou-se que os quatro espaçamentos de plantio testados, conduziram a diferentes produções de BIO e PE dos quatro diferentes compartimentos da parte aérea das árvores, nos três períodos após o plantio. Assim como, para o PCS e para a ME nos diferentes anos após o plantio.

De uma maneira geral, verificou-se que as maiores produções de biomassa nos diferentes compartimentos apresentam a seguinte ordem madeira>galho>folha>casca (TABELA 13). Resultados semelhantes foram observados com *Eucalyptus* spp. por Leles (1995) e Barichello *et al.* (2005).

Na análise da BIO nos diferentes compartimentos das árvores em relação aos quatro espaçamentos de plantio, observou-se uma relação direta da densidade de plantio com a distribuição de cada compartimento, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores valores de BIO quando comparados com os espaçamentos menos adensados. Para 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. Esta característica também foi observada para a PE em relação aos diferentes espaçamentos de plantio.

TABELA 13 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Acacia mearnsii*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	143,111 aA	79,935 aB	46,690 aC	55,032 aC
	Casca	10,565 dA	4,870 dB	3,325 dD	4,172 dC
	Galho	60,690 bA	24,449 bC	34,155 bB	14,031 bD
	Folha	24,951 cA	10,224 cB	8,964 cB	6,547 cC
	Total	239,317 A	119,478 B	93,134 C	79,782 C
PE	Madeira	631,406 aA	355,151 aB	202,495 aD	241,921 aC
	Casca	48,081 dA	20,503 dB	14,989 dC	18,816 dBC
	Galho	270,010 bA	111,830 bC	154,415 bB	62,957 bD
	Folha	130,768 cA	53,625 cB	45,725 cC	33,756 cD
PCS	Madeira	4412 cA	4443 bA	4337 cA	4396 bA
	Casca	4551 bA	4210 bA	4508 bA	4510 bA
	Galho	4449 bcB	4574 bA	4521 bAB	4487 bAB
	Folha	5241 aA	5245 aA	5101 aA	5156 aA
CF	Madeira	18,84 c	17,93 c	18,60 c	18,74 c
	Casca	31,53 a	31,16 a	30,9 a	31,93 a
	Galho	22,84 bc	21,95 bc	22,24 bc	22,10 b
	Folha	24,72 b	23,97 b	23,41 b	21,68 bc
MV	Madeira	80,57 a	81,48 a	80,66 a	80,59 a
	Casca	64,91 c	65,13 c	65,14 c	64,24 c
	Galho	75,60 b	76,17 b	75,95 ab	76,30 ab
	Folha	71,28 b	72,04 b	72,21 b	74,12 b
CZ	Madeira	0,59 c	0,59 c	0,73 c	0,67 c
	Casca	3,56 a	3,71 a	3,96 a	3,84 a
	Galho	1,57 b	1,89 b	1,80 b	1,60 b
	Folha	4,00 a	3,99 a	4,38 a	4,20 a
ME	Madeira	0,565 A	0,500 B	0,524 B	0,566 A
DE	Madeira	2,492	2,221	2,273	2,488

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

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, sendo 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).

Na FIGURA 4, estão apresentadas as equações de regressão significativas para a BIO, PE, PCS, CF, MV, CZ, ME e DE, dos diferentes compartimentos, ao longo dos três períodos avaliados. De modo geral, observou-se uma tendência crescente da PE, ME e DE, em relação aos diferentes anos avaliados, sem tendência a estabilização. Esses resultados seguem a mesma disposição daqueles observados para a BIO, visto que os diferentes anos avaliados influenciaram significativamente na produção dos diferentes compartimentos das árvores (FIGURA 4 A, B e C).

Os resultados apresentados são corroborados por uma série de autores que desenvolveram trabalhos relacionados à influência da densidade e idade do plantio na produção de povoamentos florestais. Dentre esses, pode-se citar os desenvolvidos por Leles *et al.* (2001) e Müller (2005). Outros autores, como Assis *et al.* (1999) e Ladeira *et al.* (2001) encontraram diferença na distribuição de BIO entre diferentes espécies e para a mesma espécie, em função de fatores como espaçamento de plantio, idade do povoamento e qualidade de sítio.

Os valores médios de PCS encontrados para a *Acacia mearnsii* tornam-se satisfatórios, devido aos períodos de cultivo e condições locais. Estes valores estão de acordo com a eficiência energética que extrapolam as duas faixas de estudos, uma realizada por Howard (1973) afirmando que o PCS para as folhosas varia na faixa de 4600 a 4800 kcal kg<sup>-1</sup>, enquanto que, para Brito (1993), este valor para folhosas tropicais está entre 3500 a 5000 kcal kg<sup>-1</sup>.

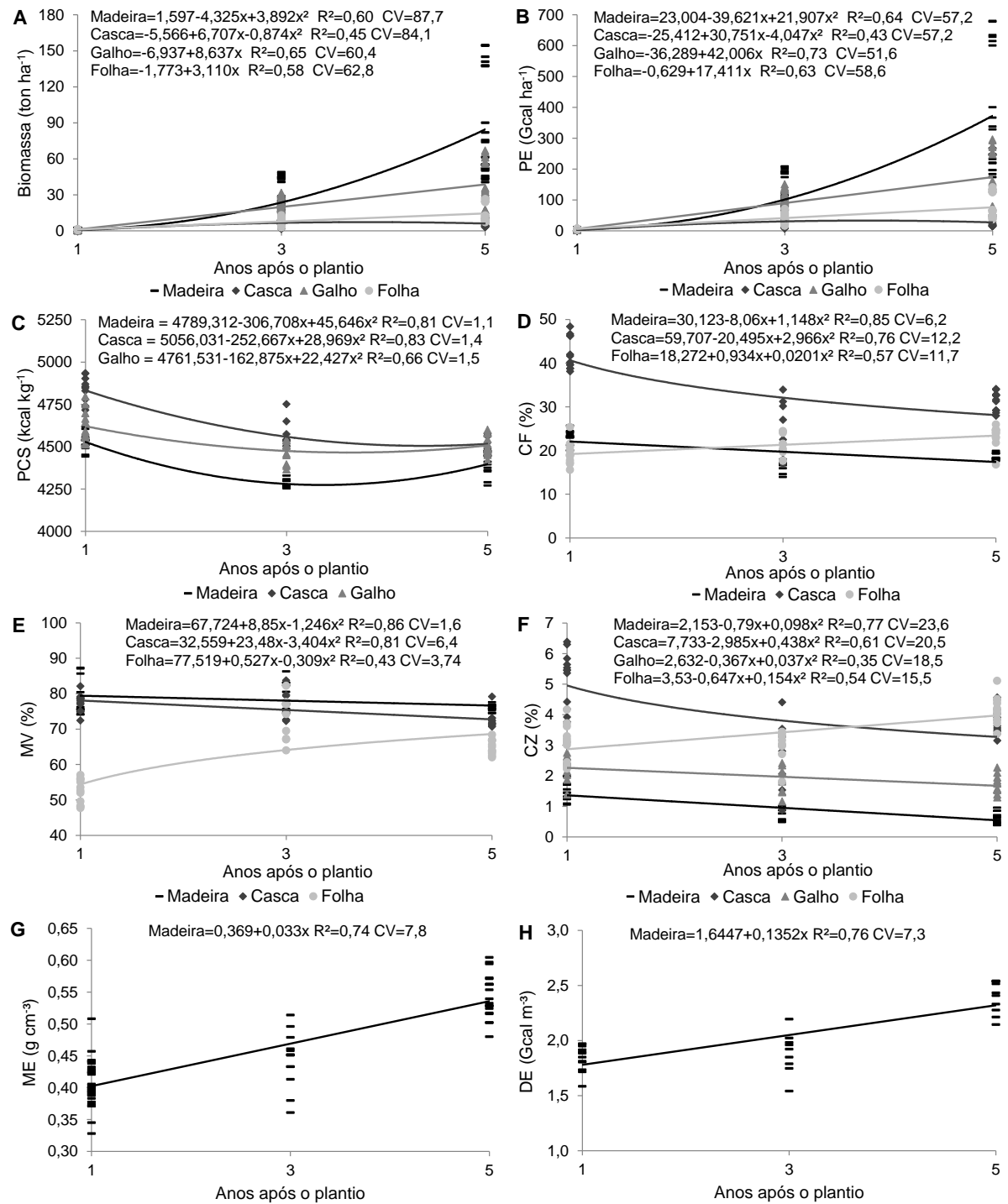


FIGURA 4 – EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Acacia mearnsii* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Quirino *et al.* (2005) ao realizar um levantamento bibliográfico referente ao PCS da madeira de 258 espécies florestais tropicais exóticas e nativas, relataram que os valores de PCS foram em média de 4710 kcal kg<sup>-1</sup>, variando de 3831 a 5324 kcal kg<sup>-1</sup>. Vale *et al.* (2002) trabalhando com 47 espécies florestais do cerrado, observaram valores de PCS que variaram de 4516 a 4989 kcal kg<sup>-1</sup>, e um valor médio de 4763 kcal kg<sup>-1</sup>. Em espécies florestais da Amazônia Peruana, Castillo (1984) estudando 20 espécies, encontrou o valor médio de 4751 kcal kg<sup>-1</sup>, com variações de 4621 a 4885 kcal kg<sup>-1</sup>. Assim como Cintra (2009), que estudando 12 espécies nativas, relata valores de PCS que variam de 4511 a 4769 kcal kg<sup>-1</sup>.

Lemenih e Bekele (2004), avaliando o efeito da idade no PCS da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas na Etiópia, mencionam uma relação negativa com a idade da árvore. Resultados semelhantes foram relatados por Vidaurre *et al.* (2012) com *Schizolobium amazonicum*, em que observaram que a idade mais jovem apresentou o maior valor de PCS, com tendência de redução com o aumento da idade da árvore. Em contrapartida, Santana (2009) relatou que o PCS, foi pouco influenciado pela idade, não podendo constatar uma tendência definida. O mesmo autor cita que fatores relacionados à composição estrutural da madeira influenciam positivamente seu potencial energético, principalmente no que diz respeito à constituição química e elementar.

Quando analisados os teores de CF, MV e CZ dos diferentes compartimentos das árvores, de uma maneira geral, apesar de se observar diferença significativa entre os três períodos, relata-se uma variação sistemática de redução destes teores, ao longo do tempo, a exceção do compartimento folha que apresentou a tendência contrária.

Os teores de MV e CF na madeira, de uma maneira geral, estão de acordo com Brito e Barrichello (1982), que preconizaram, em termos gerais, teores de MV que variam de 75% a 85% e de CF entre 15% a 25%. De acordo com esses autores, combustíveis com alto índice de CF têm queima mais lenta, sendo positivo para o processo, pois implica em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de CF.

De uma maneira geral, os teores de CZ e de CF da casca foram superiores aos da madeira, diferentemente do que ocorreu com o teor de MV (TABELA 11, 12 e 13). Resultados semelhantes para os três teores foram encontrados por Brito e

Barrichello (1978) em trabalho com cinco espécies de *Eucalyptus*. Da mesma forma, Vale (2000) estudando 47 espécies florestais, observou uma variação do teor de MV da madeira de 74,62 a 81,20%, e para casca de 65,2 a 76,95%.

Em relação ao o teor de MV, relata-se que o mesmo interfere de forma positiva na ignição, pois quanto maior o seu valor, maior será a reatividade, determinando a facilidade com que uma biomassa queima. A biomassa, ao apresentar alto teor de MV, tem maior facilidade de incendiar e queimar e, embora o processo de combustão seja rápido, o mesmo é difícil de controlar, diminuindo assim o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética (CHAVES *et al.*, 2013).

Madeiras com maiores teores de CF apresentaram maiores ME. Assim, a ME e o teor de CF podem ser utilizados como indicadores de madeira para combustão direta. O CF tem relação direta com o PCS, independentemente do material utilizado. Desta forma, o que se espera é que elevados teores de CF impliquem em um maior PCS (VIEIRA *et al.*, 2013).

Os resultados de ME da madeira observados neste trabalho, estão dentro do intervalo que Quirino *et al.* (2005) relataram para 108 espécies florestais, que variaram de 0,200 a 1,080 g cm<sup>-3</sup>. Os diferentes espaçamentos de plantio induzem à variação da ME da madeira no 5º ano após o plantio, não sendo verificada uma variação sistemática de aumento ou redução em relação ao espaço vital proporcionado pelo espaçamento.

Na literatura são relatadas divergências em relação ao efeito dos espaçamentos de plantio com a ME. Vital e Della Lucia (1987), não encontraram efeito significativo do espaçamento na ME da madeira. No entanto, são divergentes dos relatados por Roque e Ledzema (2003) e Pauleski (2010) que verificaram um aumento da ME com o aumento do espaçamento. Em contrapartida, Chies (2005) e Castelo (2007) verificaram uma diminuição da ME da madeira com o aumento do espaçamento de plantio. Para Eloy *et al.* (2013), as causas destas divergências de resultados podem ser atribuídas a diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos, diferentes condições ambientais, em função de diferentes idades.

Observa-se na FIGURA 4G, que a ME aumenta com o passar dos períodos avaliados. Esse resultado é corroborado por uma série de autores que estudaram esta característica tecnológica. Em estudos realizados por Freddo (1997), esta

característica tecnológica foi igual a  $0,566 \text{ g cm}^{-3}$  para *A. mearnsii*, aos 18 anos de idade. Já Schneider *et al.* (2005), relatou o valor médio equivalente a  $0,600 \text{ g cm}^{-3}$ , considerando povoamentos diferenciados quanto à idade, qualidade do sítio e espaçamento de plantio.

Com relação a um produto energético em específico, Brito e Barrichelo (1980) relatam que quando se trata de carvão vegetal, a ME da madeira se correlaciona positivamente com a densidade do mesmo. Assim, madeiras que apresentam ME 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 ME 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 ME, porém essas apresentam maiores dificuldades para início da queima.

#### 5.4 CONCLUSÃO

As três idades influenciam significativamente em todas as variáveis analisadas, proporcionando uma distribuição crescente das variáveis biomassa, produtividade energética, massa específica básica e densidade energética, sem tendência a estabilização até o 5º ano.

Os quatro espaçamentos de plantio proporcionam diferentes produções de biomassa, produtividade energética, poder calor superior e massa específica básica. Sendo que o aumento do espaçamento causa uma tendência de redução dos valores de biomassa e produtividade energética em todos os períodos avaliados. A massa específica básica do 5º ano apesar de sofrer influência do espaçamento, não apresenta uma variação sistemática de aumento ou redução em função do espaço vital proporcionado.

Os quatro compartimentos das árvores induzem a um efeito significativo nas variáveis biomassa, poder calorífico superior, produtividade energética, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Determinação da densidade básica da madeira.** Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.
- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J. 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.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1978.
- 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. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Pan Americano, 1, Curitiba, **Anais...** Curitiba: SBS. p. 280-282. 1993.
- 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.** 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- CASTILLO, M. U. Determinacion del poder calorifico de 20 especies forestales de la Amazonia peruana. **Revista Florestal do Peru**, v.12, n.1-2, p.98-117, 1984.
- ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica.** 5.ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740 p.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. 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.** 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L. V.; BUSANELLO, C. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M. L. B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 327 - 334, 2013.

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.** 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

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

LADEIRA, B. C.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; BARROS, N. F. de. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 - 78, 2001.

LELES, P. P. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAES, E. J. 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. 133 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia. **Biomass e Bioenergy**, v.27, p.223-232, 2004.

- 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, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. S. 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.
- 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.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. 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.; COSTA, E. C.; CANTARELLI, E. C.; PERRANDO, E, R.; PACHECO, D. D. P. Ocorrência de *Phaops thunbergi* (Coleoptera: Curculionidae) em *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Rural**, Santa Maria, 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.** 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- QUIRINO, W. F. VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. 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 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.
- 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.
- SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 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.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. 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.

VALE, A. T. **Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético**. 111 f. Tese (Doutorado em Energia da Biomassa) - Universidade do Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2000.

VALE, A. T.; MOURÃO, M. A.; LEÃO, B. A. L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.2, p.365-371, 2012.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

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.

## 6 CAPÍTULO 4 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA *Mimosa scabrella* BENTH

### RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas em diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha da espécie *Mimosa scabrella* Benth, distribuída em diferentes espaçamentos: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio. 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. Foram determinadas as variáveis biomassa (BIO), poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ME), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), teor de material volátil (MV) e teor de cinzas (CZ). Os quatro espaçamentos de plantio induzem a diferentes produções de BIO e PE, com uma tendência de redução dos seus valores com o aumento do espaçamento, em todos os períodos avaliados. As três idades apresentam efeito significativo em todas as variáveis analisadas, proporcionando uma distribuição crescente nas variáveis BIO, PE, DE, ME e CZ, sem tendência a estabilização com tempo. Os quatro compartimentos das árvores influenciam significativamente nas variáveis BIO, PCS, PE, CF, MV e CZ.

Palavras-chave: Bracatinga, biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética.

EFFECT OF AGE AND PLANT SPACING IN THE ENERGY PROPERTIES OF  
*Mimosa scabrella* BENTH

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of age and plant spacing in the energy properties of the different compartments of biomass: wood, bark, branch, and leaf of the species *Mimosa scabrella* Benth, distributed at different spacings: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m on the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> year after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications. The following variables were determined: biomass (BIO), gross calorific value (PCS), specific gravity (ME), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), content of volatile material (MV), and ash content (CZ). The four plant spacings induce different productions of BIO and PE, with a tendency of values reduction with the raise in plant spacing in all evaluated periods. The three different ages significantly influence all variables analyzed, allowing an increasing distribution of BIO, PE, DE, ME and CZ, with no tendency for stabilization throughout time. The four tree compartments induce a significative effect in BIO, PCS, PE, CF, MV, and CZ variables.

Key-words: Bracatinga, biomass, gross calorific value, specific gravity, immediate chemical analysis, energy productivity, energy density.

## 6.1 INTRODUÇÃO

A biomassa florestal apresenta um papel fundamental em termos de estratégias ligadas à produção e ao uso de energia, sendo evidente o seu consumo para tal finalidade, atividade esta, que vem crescendo continuamente ao longo da última década no Brasil. No cenário energético nacional, esta matéria prima ocupa posição importante, tratando-se de um recurso natural renovável com uma produção

sustentável e não apresenta um viés poluidor quando comparado com outras fontes fósseis.

Atualmente, com a crescente demanda por fontes renováveis de energia, estudos a respeito da capacidade 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 (SILVA *et al.*, 2012); tornando, assim, promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia.

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

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.

Estes recursos dendroenergéticos, em um sistema de produção florestal, visam maior produção e biomassa por unidade de área, em menor espaço de tempo. Assim, aliado ao propósito de exploração em sistema adensado, com o objetivo de produção de biomassa, surge o conceito de plantios de curta rotação (MÜLLER *et al.*, 2005). Assim, para que o Brasil possa aumentar a participação da biomassa e produtos da madeira na sua matriz energética, são necessárias melhorias no acesso a tecnologia florestal para pequenos e médios produtores, tanto de silvicultura e manejo, como de conversão da madeira em energia, aumentando o potencial de geração dos plantios florestais futuros.

A produção de madeira e de recursos dendroenergéticos é de fundamental importância para a região norte do Rio Grande do Sul, onde ressenete-se da falta de

informações referentes ao material combustível (lenha/carvão) para o uso em vários segmentos residenciais, comerciais e industriais. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, da espécie *Mimosa scabrella* Benth.

## 6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo, a amostragem, além das determinações de biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética, bem como a análise dos dados, seguem os procedimentos descritos nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 3.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8 e 3.2.4, respectivamente.

## 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou que os efeitos de idade e compartimentos foram significativos em todas as variáveis analisadas. Esta característica também foi observada para o efeito do espaçamento de plantio em relação às variáveis BIO e PE. Quando analisado o efeito das interações entre os três fatores testados, foi observada diferença para BIO, PE e CZ. E da mesma forma, para a interação ano x compartimento para MV. Assim, relata-se que existe dependência entre os efeitos avaliados e, portando, realizou-se o desdobramento sendo avaliado um feito dentro do outro (TABELA 14).

TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

FV	GL	Quadrado Médio			
		BIO	PE	PCS	CF
E	3	441,37*	8436,40*	7254,97 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
C	3	3160,51*	61194,77*	1231543,30*	71,94*
E x C	9	225,13*	4297,99*	7565,62 <sup>ns</sup>	1,74 <sup>ns</sup>
B	2	1,7 <sup>ns</sup>	30,4 <sup>ns</sup>	30916,0 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>
Erro A	30	1,7	29,8	12240,7	5,23
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	2314,02*	45555,72*	354800,19*	214,63*
A x E	6	101,85*	1926,85*	10015,54 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>
A x C	6	1074,85*	21326,46*	16782,07 <sup>ns</sup>	53,74 <sup>ns</sup>
A x E x C	18	67,71*	1319,93*	14275,22 <sup>ns</sup>	6,22 <sup>ns</sup>
Erro B	302	1,3	23,8	11001,1	7,92
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,98	0,98	0,82	0,74
CV (%)		23,8	22,6	2,3	13,4

FV	GL	Quadrado Médio			
		MV	CZ	ME	DE
E	3	1,05 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>
C	3	309,44*	102,38*	-	-
E x C	9	1,99 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	-	-
B	2	1,90 <sup>ns</sup>	2,17*	-	-
Erro A	30	7,99	0,25	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	323,60*	15,75*	0,005*	0,075*
A x E	6	3,18 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>
A x C	6	77,69*	3,43*	-	-
A x E x C	18	7,46 <sup>ns</sup>	0,81*	-	-
Erro B	302	9,37	0,37	-	-
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
R <sup>2</sup>		0,75	0,95	0,42	0,47
CV (%)		3,9	17,1	6,9	5,4

Em que: FV=Fator de variação; GL=Grau de liberdade; A=Ano; E=Espaçamento; C=Compartimento; B=Bloco; R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de variação; \*=significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

No 1º ano de avaliação, a BIO e PE não apresentaram diferença significativa nos maiores espaçamentos de plantio, nos diferentes compartimentos das árvores. Para a folha relata-se os maiores valores de PE, motivado principalmente pelo maior PCS que este compartimento apresentou, que variou de 4821 a 4947 kcal kg<sup>-1</sup>. O compartimento folha juntamente com a madeira apresentaram os maiores valores médios de MV, que variaram de 78,54 a 83,10% e 78,72 a 79,13%, respectivamente. De forma semelhante, foi verificada esta mesma característica para a casca nas variáveis CF e CZ, que variaram de 23,22 a 24,12% e 4,59 a 5,20%, respectivamente (TABELA 15).

No 3º ano de avaliação, os maiores valores de BIO foram observados no compartimento madeira nos menores espaçamentos de plantio, que variaram de 14,324 a 24,896 ton ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma, esta característica foi observada para a PE e MV para o mesmo compartimento. Os maiores valores médios de PCS foram relatados para o compartimento folha, que variaram de 4591 a 4856 kcal kg<sup>-1</sup>. Já para o CZ este compartimento juntamente com a casca apresentaram esta característica, variando de 3,49 a 5,30% e 4,46 a 5,94%, respectivamente, sendo que para madeira relatou-se os menos valores médios. Da mesma forma, a ME e a DE variaram entre os espaçamentos de 0,396 a 0,412 g cm<sup>-3</sup> e 1,698 a 1,810 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 16).

Assim como verificado no 3º ano de avaliação, no 5º ano a produção de BIO e a PE da madeira foram superiores estatisticamente aos demais compartimentos das árvores. Estes variaram de 17,071 a 38,965 ton ha<sup>-1</sup> e 75,607 a 172,927 Gcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação aos espaçamentos de plantio. Da mesma forma, para este compartimento verificaram-se os maiores valores médios de MV, variando de 76,59 a 77,17%, e os menores valores médios de CZ que alternaram de 1,74 a 1,91%. Da mesma forma que nos dois períodos anteriores, no 5º ano os maiores PCS médios foram observados no compartimento folha, que variaram de 4694 a 4895 kcal kg<sup>-1</sup>. Já para ME e DE relatou-se que as mesmas variaram entre os diferentes espaçamentos de 0,418 a 0,437 g cm<sup>-3</sup> e de 1,870 a 1,935 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 17).

TABELA 15 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	1,618 aA	1,055 abA	0,899 aA	0,542 aA
	Casca	0,268 bA	0,248 bA	0,237 aA	0,155 aA
	Galho	1,353 aA	1,061 abA	0,731 aA	0,762 aA
	Folha	1,558 aA	1,489 aA	0,792 aA	0,718 aA
	Total	4,797 A	3,853 B	2,659 C	2,177 C
PE	Madeira	7,414 aA	4,777 abA	4,099 aA	2,444 aA
	Casca	1,180 bA	1,117 bA	1,065 aA	0,689 aA
	Galho	6,144 aA	4,849 abA	3,350 aA	3,503 aA
	Folha	7,552 aA	7,226 aAB	3,818 aBC	3,552 aC
PCS	Madeira	4582 b	4528 b	4559 b	4510 b
	Casca	4400 c	4500 b	4492 b	4446 b
	Galho	4541 bc	4570 b	4582 b	4597 b
	Folha	4847 a	4853 a	4821 a	4947 a
CF	Madeira	19,96 a	19,66 ab	19,69 b	19,65 b
	Casca	23,36 a	23,22 a	24,64 a	24,12 a
	Galho	22,54 a	21,36 ab	21,67 ab	22,88 ab
	Folha	15,61 b	18,60 b	17,44 b	13,74 c
MV	Madeira	78,72 ab	79,09 a	79,13 a	78,96 a
	Casca	71,97 c	72,18 b	70,65 b	70,67 b
	Galho	74,43 bc	75,96 ab	75,69 a	74,35 b
	Folha	80,88 a	78,54 a	79,25 a	83,10 a
CZ	Madeira	1,32 c	1,24 c	1,19 c	1,38 c
	Casca	4,67 a	4,59 a	4,72 a	5,20 a
	Galho	3,03 b	2,68 b	2,64 b	2,77 b
	Folha	3,50 b	2,85 b	3,31 b	3,16 b
ME	Madeira	0,388	0,409	0,405	0,406
DE	Madeira	1,778	1,852	1,846	1,831

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 16 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	24,896 aA	14,324 aB	6,559 aC	4,846 aD
	Casca	3,820 cA	3,049 cB	1,359 cC	0,910 cC
	Galho	6,592 bA	4,606 bB	3,339 bC	3,492 bD
	Folha	2,884 cA	1,559 dB	1,585 cB	1,095 cB
	Total	38,192 A	23,538 B	12,842 B	10,343 C
PE	Madeira	107,576 aA	61,436 aB	28,453 aC	21,288 aC
	Casca	16,338 cA	13,257 cB	5,803 cC	3,796 cC
	Galho	29,058 bA	20,441 bB	14,985 bC	15,592 bBC
	Folha	14,005 cA	7,157 dB	7,331 cB	5,195 cB
PCS	Madeira	4321 b	4289 b	4338 bc	4393 b
	Casca	4277 b	4348 b	4270 c	4171 c
	Galho	4408 b	4438 ab	4488 ab	4465 b
	Folha	4856 a	4591 a	4625 a	4744 a
CF	Madeira	16,05 b	17,42 a	15,64 b	17,21 b
	Casca	19,81 ab	18,33 a	20,75 a	19,74 ab
	Galho	19,82 a	20,66 a	16,75 ab	17,35 b
	Folha	21,52 a	18,06 a	19,70 a	23,12 a
MV	Madeira	82,35 a	81,31 a	82,72 a	80,86 a
	Casca	74,54 b	77,21 a	74,18 b	74,32 b
	Galho	77,45 ab	76,63 a	81,15 a	79,99 a
	Folha	74,99 b	77,15 a	75,80 b	71,57 b
CZ	Madeira	1,60 c	1,27 c	1,64 b	1,93 b
	Casca	5,65 a	4,46 a	5,07 a	5,94 a
	Galho	2,73 b	2,71 b	2,10 b	2,66 b
	Folha	3,49 b	5,01 a	4,97 a	5,30 a
ME	Madeira	0,406	0,396	0,407	0,412
DE	Madeira	1,754	1,698	1,766	1,810

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 17 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Mimosa scabrella*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	38,965 aA	37,178 aA	19,914 aB	17,071 aB
	Casca	3,373 cA	3,314 cA	2,124 cB	1,689 cB
	Galho	8,052 bA	7,404 bA	5,594 bB	9,258 bA
	Folha	2,991 cA	2,060 cA	1,564 cA	1,748 cA
	Total	53,381 A	49,956 A	29,196 B	29,766 B
PE	Madeira	172,927 aA	166,334 aA	89,832 aB	75,607 aB
	Casca	14,639 cA	14,482 cA	9,426 cB	7,474 cB
	Galho	35,589 bAB	32,163 bB	24,798 bC	41,689 bA
	Folha	14,040 cA	9,999 cAB	7,656 cB	8,366 cB
PCS	Madeira	4438 b	4474 b	4511 b	4429 b
	Casca	4340 b	4370 b	4438 b	4425 b
	Galho	4420 b	4344 b	4433 b	4503 b
	Folha	4694 a	4854 a	4895 a	4786 a
CF	Madeira	21,37 a	21,50 a	20,94 a	21,46 a
	Casca	25,18 a	25,24 a	23,44 a	25,03 a
	Galho	22,48 a	23,06 a	23,02 a	22,97 a
	Folha	23,49 a	23,80 a	24,44 a	24,57 a
MV	Madeira	76,90 a	76,59 a	77,17 a	76,95 a
	Casca	68,33 c	67,89 c	69,78 b	69,91 b
	Galho	74,98 ab	73,93 ab	73,84 ab	74,13 ab
	Folha	70,61 bc	70,68 bc	69,79 b	69,42 b
CZ	Madeira	1,74 b	1,91 b	1,88 b	1,59 c
	Casca	6,49 a	6,87 a	6,78 a	5,06 a
	Galho	2,54 b	3,00 b	3,14 b	2,90 b
	Folha	5,90 a	5,52 a	5,10 a	6,00 a
ME	Madeira	0,433	0,418	0,429	0,437
DE	Madeira	1,921	1,870	1,935	1,935

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

A partir da análise, observou-se que os quatro espaçamentos de plantio e as três idades testadas, conduziram a diferentes produções de BIO e PE dos quatro diferentes compartimentos da parte aérea das árvores. Sendo relatada uma relação

direta da densidade de plantio com a distribuição de cada compartimento, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores valores médios de BIO quando comparados com os espaçamentos menos adensados. Para 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.

Com o efeito do espaçamento, observam-se valores decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento do espaçamento de plantio. Para Müller *et al.* (2005), esta variação que ocorre entre os espaçamentos tende a se estabilizar com o tempo, ou seja, 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 e, que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas.

Em relação às equações de regressão significativas do efeito das três idades frente aos diferentes compartimentos, observa-se uma tendência crescente da BIO, PE, CZ, ME e DE, em relação aos diferentes anos avaliados, sem tendência a estabilização, visto que as diferentes idades avaliadas influenciaram significativamente nos diferentes compartimento (FIGURA 5). Esses resultados são corroborados por uma série de autores que desenvolveram trabalhos relacionados à influência do espaçamento e idade do plantio na produção de povoamentos florestais, assim como na distribuição de BIO entre diferentes espécies e para a mesma espécie, em função destes fatores. Dentre esses, pode-se citar os desenvolvidos por Ladeira *et al.* (2001), Leles *et al.* (2001) e Müller *et al.* (2005).

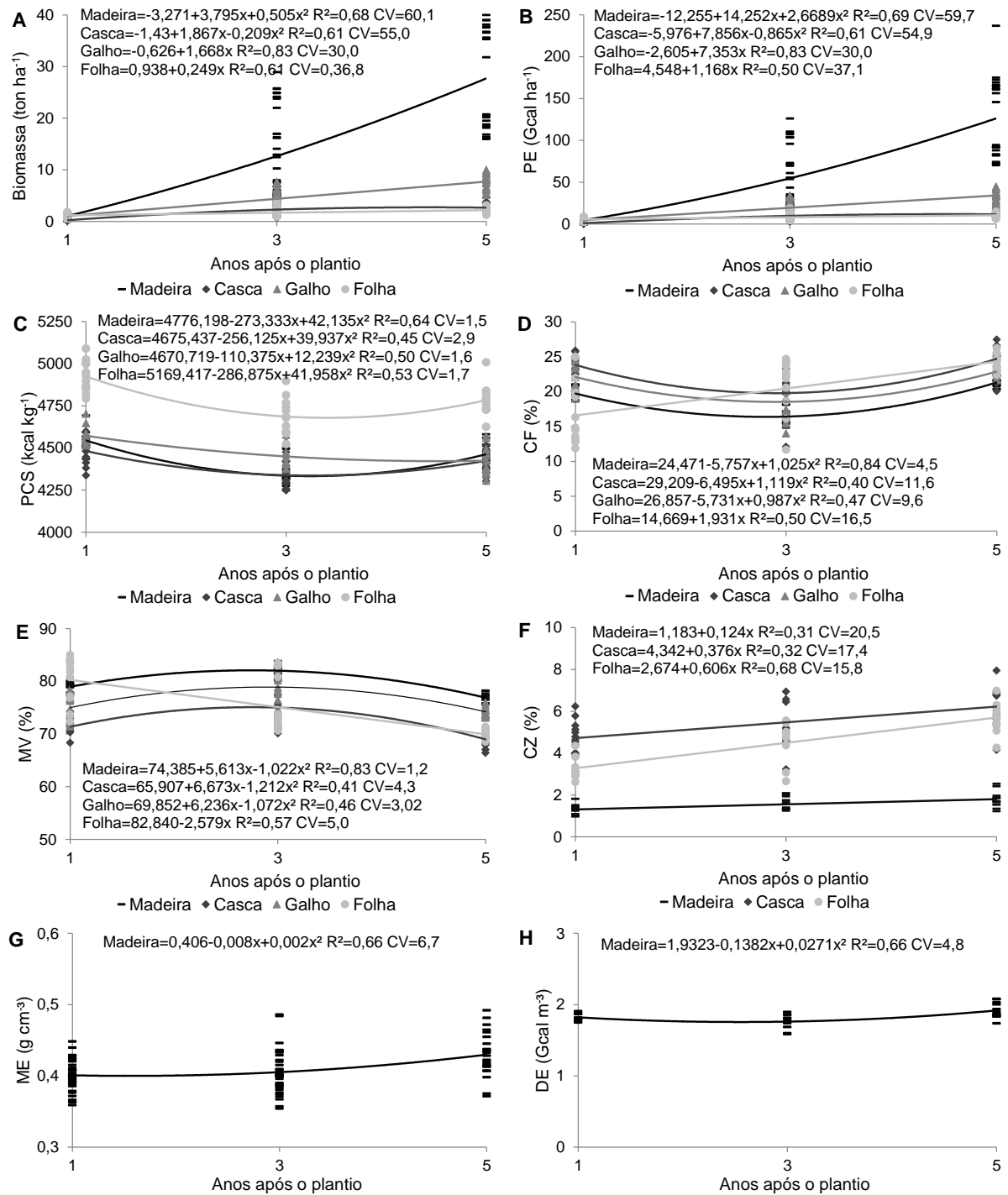


FIGURA 5 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Mimosa scabrella* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Os valores médios de PCS encontrados para a *M. scabrella* não diferem daqueles destacados por Sturion e Tomazelli (1990) e Silva *et al.* (2012) que observaram 4414 e 4511 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e inferiores daqueles relatados por Quirino *et al.* (2005) em que observou valores de que variaram de 4589 a 4890 kcal kg<sup>-1</sup>. Estes mesmos autores ao realizar um levantamento bibliográfico referente ao PCS da madeira de 258 espécies florestais tropicais exóticas e nativas, citaram que os valores foram em média de 4710 kcal kg<sup>-1</sup>, variando de 3831 a 5324 kcal kg<sup>-1</sup>.

Apesar de o PCS apresentar efeito significativo, verificou-se que o mesmo foi pouco influenciado pela idade, o que corrobora com Santana (2009) que constatou que esta variável não apresenta uma tendência definida ao longo do tempo. Em contrapartida, Lemenih e Bekele (2004) e Vidaurre *et al.* (2012), mencionam uma relação negativa com a idade da árvore, observando que as idades mais jovens apresentaram os maiores valor de PCS.

Os diferentes espaçamentos de plantio não causaram efeito significativo do espaçamento na ME da madeira. Este resultado corrobora com os observados por Eloy *et al.* (2013). No entanto, são divergentes dos relatados por Pauleski (2010), que verificaram um aumento da ME com o aumento do espaçamento de plantio. Assim como, Garcia *et al.* (1991) que observaram uma diminuição desta característica tecnológica da madeira com o aumento do espaçamento. Perante essas divergências, Eloy *et al.* (2013) expressa que esses resultados podem ser decorrentes de diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos, diferentes condições ambientais, em função de diferentes idades.

Observa-se na FIGURA 5G, que a ME aumenta com a idade, sendo que os maiores valores médios para a *M. scabrella*, foram observados no 5º ano após o plantio. Estes são superiores daqueles citados por Eloy *et al.* (2013), em que encontraram o valor médio de 0,414 g cm<sup>-3</sup>. Em contrapartida, são inferiores aos relatados por Sturion e Tomaselli (1990), que observaram valores para esta característica tecnológica de 0,521 g cm<sup>-3</sup>. Assim como Costa *et al.* (2001), que citaram valores que variaram entre 0,590 a 0,630 g cm<sup>-3</sup>, confirmando a existência de variabilidade dentro da espécie.

Os teores de MV e CF na madeira observados neste trabalho estão de acordo com Brito e Barrichello (1982), onde relataram, em termos gerais, que os teores de MV variam de 75% a 85% e de CF entre 15% a 25%. Para os mesmos autores,

combustíveis com alto índice de CF têm queima mais lenta, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima. Para Vale *et al.* (2005), madeiras com maiores teores de CF apresentaram maiores massas específicas, podendo ser utilizadas como indicadores de madeira para combustão direta.

De uma maneira geral, os teores de CZ e de CF da casca foram superiores aos da madeira, diferentemente do que ocorreu com o teor de MV (TABELA 15, 16 e 17). Resultados semelhantes foram encontrados por Brito e Barrichello (1978) em trabalho com cinco espécies de *Eucalyptus*.

Quando relacionado com o PCS, as CZ apresentam relação inversa ao mesmo, pois apresentam substâncias compostas de material inorgânico que não entram em combustão. Já o MV durante a queima da biomassa, apesar de interferir de forma positiva na ignição, volatilizam rapidamente diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética. Em contrapartida, o CF demonstra relação direta com o PCS, independentemente do material utilizado (VIEIRA *et al.*, 2013).

#### 6.4 CONCLUSÃO

As diferentes idades apresentam efeito significativo em todas as variáveis analisadas, proporcionando uma distribuição crescente das variáveis biomassa, produtividade energética, massa específica básica, densidade energética e teor de cinzas, sem tendência a estabilização com tempo. Sendo verificado que os maiores valores estão presentes no 5<sup>o</sup> ano após o plantio.

Os quatro espaçamentos de plantio induzem a diferentes produções de biomassa e produtividade energética, com uma tendência de redução dos seus valores com o aumento do espaçamento, em todos os períodos avaliados.

Os quatro compartimentos das árvores influenciam significativamente nas variáveis biomassa, poder calor superior, produtividade energética, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Determinação da densidade básica da madeira.** Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n.16, p.63-70, 1978.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.
- COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 59-70, 2001.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M. L. B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 327 - 334, 2013.
- 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**, Circular Técnica, n. 179, Piracicaba, p. 1-8, 1991.
- LADEIRA, B. C.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; BARROS, N. F de. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 - 78, 2001.
- LELES, P. P. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAES, E. J. 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.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia. **Biomass e Bioenergy**, v.27, p.223-232, 2004.

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.

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.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. 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.

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

QUIRINO, W. F. VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.

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.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 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.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. 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.

STURION, J. A.; TOMASELLI, I. Influência do tempo de estocagem de lenha de bracinga na produção de energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 21, p. 37 - 47, 1990.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*) **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

## 7 CAPÍTULO 5 - EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA *Ateleia glazioviana* BAILL

### RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas em diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca e galho da espécie *Ateleia glazioviana* Baill, distribuída em diferentes espaçamentos: 2,0x1,0 m, 2,0x1,5 m, 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio. 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. Foram determinadas as variáveis biomassa (BIO), poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ME), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), teor de material volátil (MV) e teor de cinzas (CZ). Concluiu-se que as diferentes idades das árvores influenciam significativamente todas as variáveis analisadas, proporcionando uma distribuição crescente da BIO, PE, CF, ME e DE, sem tendência a estabilização ao longo do tempo. Os quatro espaçamentos de plantio induzem a diferentes produções de BIO e PE, com uma tendência de redução dos seus valores com o aumento do espaçamento, em todos os períodos avaliados. Os quatro compartimentos das árvores induzem a um efeito significativo das variáveis BIO, PE, PCS, CF, MV e CZ.

Palavras-chave: Timbó, biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética.

EFFECT OF AGE AND PLANT SPACING IN THE ENERGY PROPERTIES OF  
*Ateleia glazioviana* BAILL

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of age and plant spacing in the energy properties of the different compartments of biomass of the species *Ateleia glazioviana* Baill, distributed at different spacings: 2.0x1.0 m, 2.0x1.5 m, 3.0x1.0 m and 3.0x1.5 m on the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> year after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications. The following variables were determined: biomass (BIO), gross calorific value (PCS), specific gravity (ME), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), content of volatile material (MV), and ash content (CZ). It was concluded that the different tree ages significantly influence all variables analyzed, allowing an increasing distribution of BIO, PE, CF, ME and DE, with no tendency for stabilization throughout time. The four plant spacings induced different productions of BIO and PE, with a tendency of values reduction with the raise in plant spacing in all evaluated periods. The four tree compartments induce a significative effect in BIO, PE, PCS, CF, MV, and CZ variables.

Key-words: Timbó, biomass, gross calorific value, specific gravity, immediate chemical analysis, energy productivity, energy density.

## 7.1 INTRODUÇÃO

As florestas sempre estiveram presentes na vida do homem ao longo da história da humanidade, fornecendo tanto produtos como serviços ambientais. E assim, com o passar do tempo e a evolução da sociedade, das suas necessidades, e dos processos industriais, as florestas foram sendo suprimidas para dar lugar a

outras formas de uso do solo, ou manejadas de forma a ofertar os seus produtos, mantendo de certo modo a sua capacidade de ofertar serviços ambientais.

Para que ocorra o uso adequado de qualquer material é indispensável o conhecimento de suas características, principalmente aquelas relacionadas à sua aplicabilidade. Com a biomassa florestal não é diferente, sendo indispensável o conhecimento de suas propriedades, de modo que estas sirvam de subsídio na indicação do seu uso final. Cada espécie apresenta diferentes características, sendo necessária a verificação de diversos fatores que atuam intrinsecamente em sua qualidade de uso.

Em um sistema de produção florestal, os recursos dendroenergéticos visam uma maior produção e biomassa por unidade de área, em menor espaço de tempo. Dessa forma, aliado ao propósito de exploração em sistema adensado, com o objetivo de produção de biomassa, surge o conceito de plantios de curta rotação (MÜLLER *et al.*, 2005). Dentro deste contexto, para que o Brasil possa aumentar a participação da biomassa e produtos da madeira na sua matriz energética, são necessárias melhorias no acesso a tecnologia florestal para pequenos e médios produtores, tanto de silvicultura e manejo, como de conversão da madeira em energia, aumentando o potencial de geração dos plantios florestais futuros.

A escolha do material genético a ser utilizado na implantação de povoamentos florestais que pode ser oriundo 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, subsidiando desse modo, à tomada de decisão para a execução dos plantios florestais (MOREIRA, 2011).

O espaçamento praticado no plantio é um dos principais fatores que afetam a formação das florestas, pois o mesmo apresenta implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, interferindo nas taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como as práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, nos custos de produção (ELOY, 2013). Dessa forma, quando se tem como objetivo a produção madeireira para fins energéticos, normalmente recomendam-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista a

produção de um maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, da espécie *Ateleia glazioviana* Baill.

## 7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo, a amostragem, além das determinações de biomassa, poder calorífico superior, massa específica básica, análise química imediata, produtividade energética, densidade energética, bem como a análise dos dados seguem os procedimentos descritos nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 3.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8 e 3.2.4, respectivamente.

## 7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo das três idades estudadas e dos três compartimentos das árvores, para todas as variáveis analisadas. Da mesma forma, foi observada esta característica para os quatro espaçamentos de plantio para as variáveis BIO e PE. Quando analisado o efeito das interações entre os três fatores testados, foi observada diferença para BIO, PE, PCS, CF e MV. E da mesma forma, para a interação ano x compartimento, para CZ. Assim, relata-se que existe dependência entre os efeitos avaliados e, portando, realizou-se o desdobramento sendo avaliado um efeito dentro do outro (TABELA 18).

TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A BIOMASSA (BIO), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), TEOR DE CARBONO FIXO (CF), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), TEOR DE CINZAS (CZ), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, EM TRÊS PERÍODOS AVALIADOS, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

FV	GL	Quadrado Médio			
		BIO	PE	PCS	CF
E	3	106,86*	2192,99*	14012,35 <sup>ns</sup>	3,36 <sup>ns</sup>
C	2	1482,26*	29448,76*	91975,44*	30,74*
E x C	6	47,95*	995,76*	32224,51*	5,13 <sup>ns</sup>
B	2	1,08 <sup>ns</sup>	17,9 <sup>ns</sup>	17393,58 <sup>ns</sup>	7,59 <sup>ns</sup>
Erro A	22	1,07	22,8	11080,25	4,44
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	1667,35*	33665,01*	165721,69*	101,97*
A x E	6	35,23*	728,66*	20184,61 <sup>ns</sup>	5,76 <sup>ns</sup>
A x C	4	654,76*	13208,31*	6391,89 <sup>ns</sup>	10,64 <sup>ns</sup>
A x E x C	12	20,88*	439,65*	21561,34*	12,45*
Erro B	226	0,44	9,21	9210,90	4,15
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,99	0,99	0,76	0,79
CV (%)		16,5	15,8	2,1	11,0

FV	GL	Quadrado Médio			
		MV	CZ	ME	DE
E	3	2,89 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
C	2	24,46*	36,98*	-	-
E x C	6	4,53 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-	-
B	2	11,16 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>		
Erro A	22	5,51	0,25		
* Significativo à probabilidade de erro tipo A					
A	2	89,58*	1,22*	0,06*	0,50*
A x E	6	5,46 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
A x C	4	5,87 <sup>ns</sup>	3,90*	-	-
A x E x C	12	12,53*	0,15 <sup>ns</sup>	-	-
Erro B	226	6,42	0,18		
* Significativo à probabilidade de erro tipo B					
R <sup>2</sup>		0,69	0,92	0,63	0,81
CV (%)		3,2	17,0	7,2	5,1

Em que: FV=Fator de variação; GL=Grau de liberdade; A=Ano; E=Espaçamento; C=Compartimento; B=Bloco; R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de variação; \*=significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

No 1º ano de avaliação, a BIO e PE não apresentaram diferença significativa entre os diferentes compartimentos das árvores. Para o PCS e CZ observou-se esta característica, sendo que de uma maneira geral, os compartimentos galho e casca apresentaram os maiores valores médios. De forma semelhante, foi verificada diferença para o CF, sendo relatado que os maiores valores médios estiveram presentes nos compartimentos madeira e casca, nos menores espaçamentos de plantio. Esta característica também foi verificada para o MV no compartimento galho. Apesar da ME e a DE não sofrerem efeito do espaçamento, as mesmas variaram entre os espaçamentos de 0,399 a 0,440 g cm<sup>-3</sup> e 1,792 a 1,960 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 19).

No 3º ano de avaliação, os maiores valores de BIO e PE foram relatados nos compartimentos madeira e galho. Já para o CZ, o compartimento casca apresentou os maiores valores médios, variando de 3,34 a 4,00%. Assim como para o PCS, que apesar de não sofrer efeito do espaçamento, a mesmo apresentou os maiores valores no compartimento casca nos espaçamentos de plantio. Já a ME e a DE variaram entre os espaçamentos de 0,468 a 0,489g cm<sup>-3</sup> e 2,052 a 2,159 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 20).

No 5º ano de avaliação, a produção de BIO e a PE da madeira foram superiores estatisticamente aos demais compartimentos das árvores, variando de 13,356 a 24,712 ton ha<sup>-1</sup> e 59,554 a 111,797 Gcal ha<sup>-1</sup>, respectivamente. De uma maneira geral, para o CF e MV verificou-se que os maiores valores médios estiveram presentes nos compartimentos madeira e galho. Em contrapartida, para o CZ esta característica foi relatada para a casca. Apesar de não sofrer efeito do espaçamento de plantio, relatou-se que a ME e DE variaram de 0,502 a 0,519 g cm<sup>-3</sup> e de 2,238 a 2,347 Gcal m<sup>-3</sup>, respectivamente (TABELA 21).

TABELA 19 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 1º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	0,256 aA	0,179 aA	0,165 aA	0,140 aA
	Casca	0,044 aA	0,032 aA	0,027 aA	0,027 aA
	Galho	0,017 aA	0,013 aA	0,010 aA	0,006 aA
	Total	0,317 A	0,224 A	0,202 A	0,173 A
PE	Madeira	1,172 aA	0,806 aA	0,735 aA	0,629 aA
	Casca	0,204 aA	0,148 aA	0,122 aA	0,126 aA
	Galho	0,078 aA	0,062 aA	0,047 aA	0,027 aA
PCS	Madeira	4578 a	4502 b	4455 b	4492 b
	Casca	4626 a	4613 ab	4521 b	4674 a
	Galho	4576 a	4748 a	4704 a	4483 b
CF	Madeira	20,81 a	19,31 a	17,95 a	18,35 a
	Casca	22,29 a	17,45 a	16,50 a	14,92 b
	Galho	13,01 b	16,02 a	15,72 a	17,11 ab
MV	Madeira	77,21 b	78,90 a	80,38 a	80,09 a
	Casca	74,98 b	80,04 a	80,42 a	81,43 a
	Galho	83,57 a	80,71 a	81,02 a	78,92 a
CZ	Madeira	1,99 b	1,78 b	1,67 b	1,57 b
	Casca	2,74 ab	2,84 a	3,08 a	3,64 a
	Galho	3,41 a	3,27 a	3,25 a	3,93 a
ME	Madeira	0,417	0,423	0,440	0,399
DE	Madeira	1,909	1,904	1,960	1,792

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 20 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 3º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	12,656 aA	7,116 aB	6,591 bB	4,111 bC
	Casca	1,977 cA	1,484 bB	0,939 cC	0,662 cC
	Galho	9,543 bA	7,142 aB	7,839 aB	5,005 aC
	Total	24,176 A	15,742 B	15,369 B	9,778 C
PE	Madeira	55,775 aA	31,204 aB	29,099 bB	18,064 bB
	Casca	9,211 cA	6,751 bA	3,925 cB	2,982 cB
	Galho	42,562 bA	31,960 aB	35,197 aB	22,317 aC
PCS	Madeira	4405 b	4385 b	4415 a	4394 a
	Casca	4659 a	4549 a	4180 b	4504 a
	Galho	4460 b	4475 ab	4490 a	4459 a
CF	Madeira	17,46 ab	17,31 a	19,19 a	18,70 a
	Casca	14,85 b	19,55 a	18,92 a	14,99 a
	Galho	18,42 a	15,94 a	15,44 b	16,67 a
MV	Madeira	81,02 a	81,10 a	79,40 ab	79,62 a
	Casca	81,72 a	76,44 b	77,75 b	81,05 a
	Galho	79,60 a	81,87 a	82,25 a	81,11 a
CZ	Madeira	1,52 b	1,59 b	1,41 c	1,65 b
	Casca	3,43 a	4,00 a	3,34 a	3,96 a
	Galho	1,99 b	2,19 b	2,30 b	2,21 b
ME	Madeira	0,472	0,468	0,489	0,486
DE	Madeira	2,079	2,052	2,159	2,135

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

TABELA 21 – TESTE DE MÉDIAS PARA BIOMASSA (BIO), EM ton ha<sup>-1</sup>, PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE), EM Gcal ha<sup>-1</sup>, PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), EM kcal kg<sup>-1</sup>, TEOR DE CARBONO FIXO (CF), EM %, TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV), EM %, TEOR DE CINZAS (CZ), EM %, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME), EM g cm<sup>-3</sup> E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE), EM Gcal m<sup>-3</sup>, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS (COMP.) DAS ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana*, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO 5º ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Variável	Comp.	Espaçamento (m)			
		2,0 x 1,0	2,0 x 1,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5
BIO	Madeira	24,712 aA	15,498 aAB	22,041 aA	13,356 aAB
	Casca	1,818 cA	1,148 cBC	1,738 cAB	1,017 cC
	Galho	5,556 bA	7,242 bA	6,585 bA	5,572 bA
	Total	32,086 A	23,888 AB	30,364 A	19,945 B
PE	Madeira	111,797 aA	68,765 aB	99,691 aA	59,554 aB
	Casca	8,343 cA	5,200 cAB	8,059 cA	4,683 cB
	Galho	24,219 bB	32,654 bA	29,988 bAB	25,269 bB
PCS	Madeira	4524 a	4437 a	4523 a	4459 a
	Casca	4589 a	4530 a	4637 a	4605 a
	Galho	4539 a	4509 a	4554 a	4535 a
CF	Madeira	20,54 a	20,92 a	20,94 a	20,86 a
	Casca	19,77 a	19,17 a	19,98 ab	20,03 a
	Galho	20,97 a	21,61 a	17,33 b	21,80 a
MV	Madeira	78,44 a	77,85 a	77,82 ab	77,96 a
	Casca	76,32 a	76,95 a	76,03 b	76,03 a
	Galho	76,65 a	76,33 a	80,67 a	76,04 a
CZ	Madeira	1,02 c	1,23 c	1,24 b	1,17 c
	Casca	3,91 a	3,88 a	3,99 a	3,94 a
	Galho	2,37 b	2,07 b	2,00 b	2,17 b
ME	Madeira	0,510	0,516	0,519	0,502
DE	Madeira	2,317	2,290	2,347	2,238

Em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre as espécies; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre os espaçamentos a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey;

Observou-se que os quatro espaçamentos de plantio testados, conduziram a diferentes produções de BIO e PE dos quatro diferentes compartimentos da parte aérea das árvores, nos três períodos após o plantio. Sendo relatada uma relação direta da densidade de plantio com a distribuição de cada compartimento, ou seja, no tratamento com maior densidade (2,0 x 1,0 m) foram observados os maiores valores médios de BIO quando comparados com os espaçamentos menos adensados. Essa maior produção de BIO por unidade de área nos espaçamentos

mais reduzidos, ocorre principalmente em função do maior número de indivíduos presentes. Esta característica também foi observada para a PE em relação aos diferentes espaçamentos de plantio

Podem-se observar tendências decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento do espaçamento de plantio. Para Ferreira *et al.* (1997), esta variação que ocorre entre os espaçamentos tende a se estabilizar com o tempo, pois a quantidade de biomassa 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 e, que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas.

Na FIGURA 6, estão apresentadas as equações de regressão significativas dos diferentes compartimentos, ao longo dos três períodos, para todas as variáveis avaliadas. De modo geral, observa-se uma tendência crescente dos compartimentos, principalmente da madeira nas variáveis BIO, PE CF, ME e DE, em relação aos diferentes anos avaliados, sem tendência a estabilização, visto que os diferentes anos avaliados influenciaram significativamente na produção dos diferentes compartimentos das árvores.

Estes resultados são corroborados por uma série de autores que realizaram seus trabalhos relacionados à influência da densidade e idade do plantio na produção de povoamentos florestais, como os desenvolvidos por Leles *et al.* (2001) e Müller *et al.* (2005). E da mesma forma, os realizados por Assis *et al.* (1999) e Ladeira *et al.* (2001) que relataram diferença na distribuição de BIO entre diferentes espécies e para a mesma espécie, em função de fatores como espaçamento de plantio, idade do povoamento e qualidade de sítio.

Observou-se que apesar da idade apresentar efeito significativo no PCS, o mesmo foi pouco influenciado pela idade, não podendo constatar uma tendência definida, o que corrobora com os trabalhos realizados por Santana (2009). Vidaurre *et al.* (2012), verificaram que a idade afetou o PCS da madeira de *Schizolobium amazonicum*, observando que a idade mais jovem apresentou o maior valor de PCS, com tendência de redução com o aumento da idade da árvore.

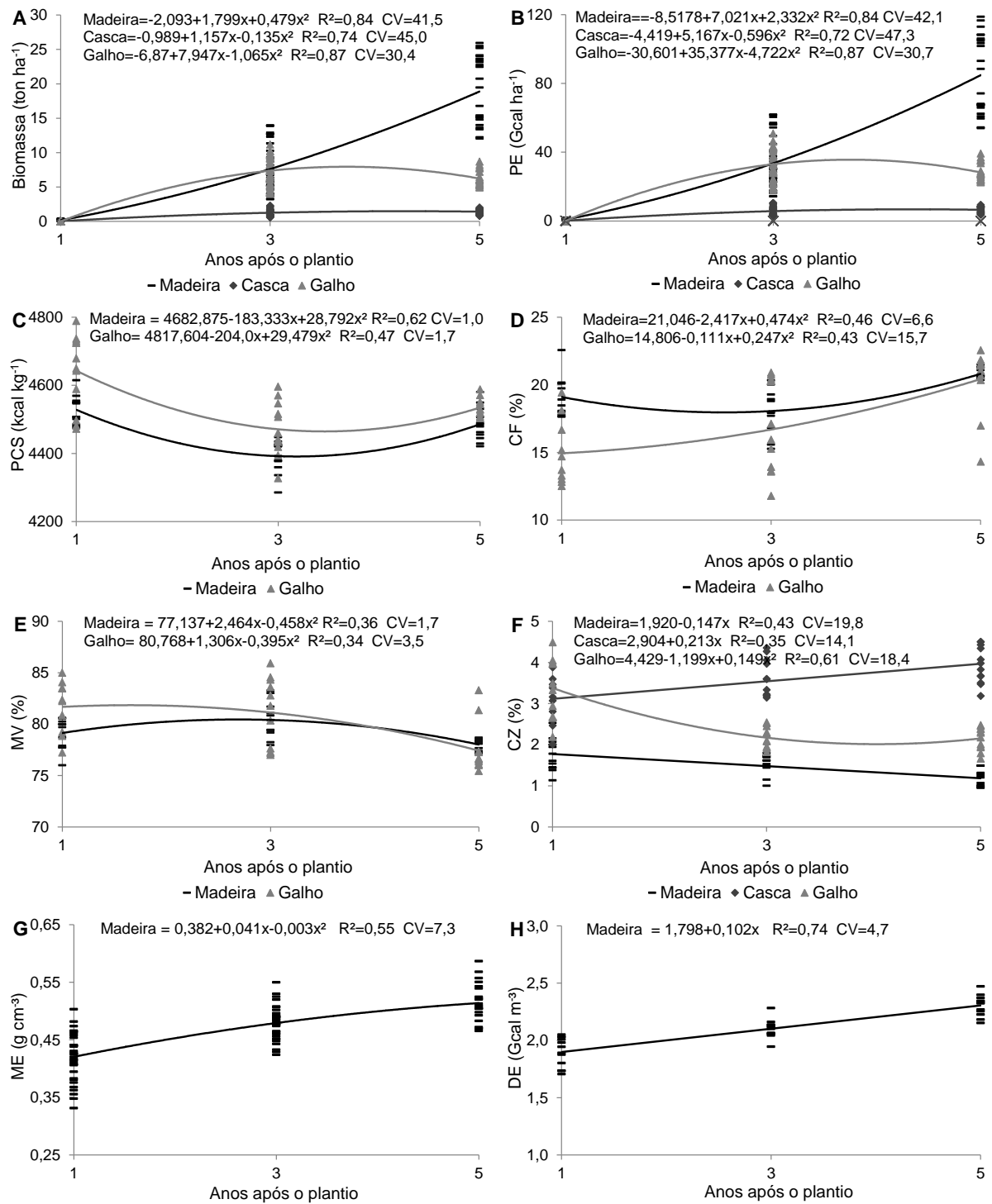


FIGURA 6 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA (A), PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA (PE) (B), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) (C), TEOR DE CARBONO FIXO (CF) (D), TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) (E), TEOR DE CINZAS (CZ) (F), MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (ME) (G) E DENSIDADE ENERGÉTICA (DE) (H), EM ÁRVORES DE *Ateleia glazioviana* NO 1º, 3º E 5º ANO APÓS O PLANTIO, DISTRIBUÍDA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Os valores médios de PCS encontrados para a *A. glazioviana* são semelhantes estatisticamente aos encontrados por Mattos *et al.* (2000), Baggio *et al.* (2002) e Silva *et al.* (2012) que obtiveram 4637, 4450, 4492 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes, são inferiores daqueles relatados por Quirino *et al.* (2005) em que observou o valor médio de 4710 kcal kg<sup>-1</sup> ao realizar um levantamento bibliográfico referente ao PCS da madeira de 258 espécies florestais tropicais exóticas e nativas.

Os valores médios de ME aumentaram com a idade, observando-se os maiores valores para a *A. glazioviana*, estiveram presentes no 5º ano após o plantio. Estes são semelhantes daqueles citados por Mattos *et al.* (2000), Baggio *et al.* (2002) e Tomasi *et al.* (2013) que encontraram valores médios para esta espécie de 0,530; 0,520 e 0,510 g cm<sup>-3</sup>, confirmando a existência de variabilidade dentro da espécie. Para outras espécies da mesma família (Fabaceae) observam-se ME semelhantes, como caso do *Peltophorum dubium*, que apresentou um valor médio igual a 0,500 g cm<sup>-3</sup> (VIVIAN *et al.*, 2010). Lorenzi (2002), relata uma ME igual a 0,550 g cm<sup>-3</sup> para *Pterocarpus violaceus*.

As diferentes densidades de plantio não influenciaram significativamente na ME da madeira. Este resultado corrobora com os observados por Vital e Della Lucia (1987) e Eloy *et al.* (2013). Em contrapartida, são divergentes dos citados por Haselein *et al.* (2002), Roque e Ledzema (2003) e Pauleski (2010), que verificaram um aumento da ME com o aumento do espaçamento. Chies (2005) e Castelo (2007) relataram uma diminuição desta característica tecnológica da madeira com o aumento do espaçamento de plantio. Essas divergências de resultados podem ser atribuídas a diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos, diferentes condições ambientais, em função de diferentes idades (ELOY *et al.*, 2013).

Quando relacionados os teores de MV e CF na madeira observou-se que os mesmos estão na faixa entre 75 a 85% e de 15 a 25%, respectivamente, sendo esta preconizada por Brito e Barrichello (1982). Para Chaves *et al.* (2013), combustíveis com alto índice de CF têm queima mais lenta que aqueles com elevados teores de MV, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de CF.

Da mesma forma, madeiras que apresentam maiores teores de CF possuem maiores ME (VALE *et al.*, 2005), podendo estas variáveis ser utilizadas como indicadores de madeira para combustão direta. O CF tem relação direta com o PCS, independentemente do material utilizado. Desta forma, o que se espera é que elevados teores de CF implique em um maior PCS (VIEIRA *et al.*, 2013). No entanto, o CZ apresenta relação inversa ao PCS, pois é composto de material inorgânico que não entram em combustão e causam perda da eficiência energética, pois é um material inerte.

A DE da madeira leva em consideração a energia contida num determinado volume de madeira, sendo influenciada pela ME e pelo PCS que variam entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie de acordo com a sua idade (MOREIRA *et al.*, 2012). Justificando dessa forma a variação relatada neste trabalho.

Na FIGURA 6, estão apresentados os modelos significativos para a DE ao longo dos três períodos avaliados, podendo observar que ocorreu uma variação crescente ao longo do tempo, constatando-se uma tendência definida, observando-se que os valores correspondentes ao 5<sup>o</sup> ano foram superiores aos anos anteriores.

Da mesma forma, para a PE foi relatada diferença entre idades e entre espaçamentos, sendo que os maiores valores estiveram presentes nas maiores idades e nos espaçamentos mais adensados. Este resultado corrobora com os obtidos por Santana (2009) estudando diferentes espécies *Eucalyptus* em que relataram diferença entre idades e entre espaçamentos, em que verificou a mesma variação crescente.

#### 7.4 CONCLUSÃO

As três idades estudadas induzem a um efeito significativo para todas as variáveis analisadas, sendo que no 5<sup>o</sup> ano após o plantio, são verificados os maiores valores de biomassa, produtividade energética, massa específica básica, densidade energética e teor de carbono fixo.

Nas maiores idades, a biomassa e a produtividade energética da madeira são superiores aos demais compartimentos das árvores, sendo que as maiores contribuições em biomassa seguem a ordem madeira>galho>casca.

Os quatro espaçamentos de plantio proporcionam diferentes produções de biomassa e produtividade energética, com uma tendência de redução dos seus valores com o aumento do espaçamento de plantio, em todos os períodos avaliados.

Os quatro compartimentos das árvores influenciam significativamente nas variáveis biomassa, poder calor superior, produtividade energética, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Determinação da densidade básica da madeira.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J. 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.; CARPANEZZI, A A; MASAGUER, A. Pontencialidades dei timbó (*Ateleia glazioveana*) y dei maricá (*Mimosa bimucronata*) para la producción de biomasa verde en zonas de clima subtropical. Decomposición y calidad. **Revista Investigación Agraria**, Madrid, v. 17, n. 2, p. 195-215. 2002.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.

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.** 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CHAVES, A. M. B. VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

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

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M. L. B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 327 - 334, 2013.

ELOY E. **Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação.** 88 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

FERREIRA, G. W.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M. 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.

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

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

LADEIRA, B. C.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; BARROS, N. F. de. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 - 78, 2001.

LELES, P. P. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAES, E. J. 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.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia. **Biomass e Bioenergy**, v.27, p.223-232, 2004.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum: v.1. 2002. 381p.

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.; PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; TEIXEIRA, L. L.; FERRON, R. M. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioviana*)**. Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, n. 47, Colombo, 2000. 6p.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, n. 293, Colombo, p. 1-5, 2012.

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.; 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.

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

QUIRINO, W. F. VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. 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.

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.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 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.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. 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.

TOMASI, J.C.; TRAMONTINA, J.; TRES, J.; CHECHI, L.; TREVISAN, R. Propriedades físicas da madeira de *Ateleia glazioviana* Baill. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p.1824-1832, 2013.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

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.

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1097-1102. 2010.

## 8 CAPÍTULO 6 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DE QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS EM DIFERENTES COMPARTIMENTOS DAS PLANTAS

### RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades elementares dos diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, das espécies florestais: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio. O trabalho foi realizado em um experimento conduzido no município de Frederico Westphalen-RS, instalado em delineamento experimental de blocos completos casualizados em três repetições. Determinou-se a composição elementar da biomassa com a quantificação dos teores de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e oxigênio (O). Concluiu-se que, as três idades induziram a um efeito significativo nos constituintes elementares da biomassa. Assim como, as quatro espécies florestais e os quatro compartimentos da biomassa diferenciam-se em relação aos constituintes elementares. Os maiores valores dos teores de H e N foram verificados para a *A. glazioviana*, os de C para a *A. mearnsii*, os de S para *M. scabrella* e, os de O foram para o *E. grandis*, de uma forma geral, para as três idades e para os quatro compartimentos da biomassa.

Palavras-chave: Características da biomassa, biocombustível, análise elementar.

## ELEMENTARY CHEMICAL COMPOSITION OF FOUR SPECIES TREES AS COMPARTMENTS DIFFERENT PLANTS

### ABSTRACT

This work aimed to evaluate the elementary properties of the different compartments of biomass: wood, bark, twig and leaf, forest species: *Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth and *Ateleia glazioviana* Baill on the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> year after planting. The study was conducted in an experiment carried out in the city of Frederico Westphalen-RS, installed on experimental delineation of randomized complete blocks in three replications. Was determined elemental composition of biomass quantification of carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S) and oxygen (O). In conclusion, the three ages induced a significant effect on the elementary constituents of biomass. As well as the forestry species and the four compartments of biomass differ in relation to the elementary constituents. The largest values of H and N contents were checked for *A. glazioviana*, the C to *A. mearnsii*, the S for *M. scabrella* and O were those for *E. grandis*, in general, and aged for three to four compartments of biomass.

Keywords: Characteristics of biomass, biofuel, elemental analysis.

### 8.1 INTRODUÇÃO

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 químicas, físicas e mecânicas que, conhecidamente, alteram o produto final.

A madeira é um material heterogêneo por ser formada por diversas células capacitadas a desempenhar funções específicas e por ser constituída de uma série de compostos orgânicos e inorgânicos (BOTREL *et al.*, 2010), sendo esta

heterogeneidade responsável por vários transtornos para a indústria (SEVERO *et al.*, 2006). A variabilidade da madeira pode ser explicada por diversos fatores, tais como o efeito do material genético utilizado, local de plantio, interação entre o genótipo e ambiente, idade e espaçamento, o que pode afetar de forma significativa a sua composição química, física, mecânica e anatômica e, conseqüentemente, influenciar na qualidade do material para energia (ASSIS *et al.*, 2012).

A idade é um fator que altera as características do material de origem, motivado principalmente pelas marcantes alterações nas características dos tecidos lenhosos com o passar do tempo e isso, acaba refletindo na qualidade do material para energia (TRUGILHO *et al.*, 1996). A escolha do local de plantio assim como da espécie e a análise da sua interação, torna-se de fundamental importância, pois refletem em modificações na composição molecular e na física da madeira (NEVES *et al.*, 2011) que, por sua vez, afeta a produção e qualidade do material para energia.

Portanto, para promover o uso tecnológico correto e racional da madeira, a determinação e quantificação de suas propriedades são essenciais. A caracterização química apresenta implicações tecnológicas, como o aproveitamento da biomassa para produção de energia, celulose e papel, painéis, entre outros. O poder calorífico e os teores de cinzas, lignina, holocelulose e de componentes elementares são propriedades diretamente relacionadas ao potencial energético da madeira (PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; PARIKH *et al.*, 2007; MOGHTADERI *et al.*, 2006).

Assim, a utilização da biomassa como combustível para fornecimento energético requer a caracterização dos componentes químicos elementares, pois a energia liberada durante o processo de combustão está correlacionada de forma positiva com os teores de carbono e hidrogênio, em função do valor energético desses elementos e, conseqüentemente, com o poder calorífico, enquanto que altos valores de oxigênio e nitrogênio decrescem o poder calorífico diminuindo o valor energético do material combustível (HUANG *et al.*, 2009; PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2012). Além disso, é desejável que a biomassa apresente baixos teores de nitrogênio e enxofre, pois estes resultam em poluição ambiental (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008; KUMAR *et al.*, 2010).

Dessa forma, deve-se considerar a proporção dos constituintes químicos para a seleção e a avaliação da biomassa, visando ao seu uso bioenergético. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a composição química em diferentes compartimentos da biomassa: madeira, casca, galho e folha, das espécies florestais: *A. mearnsii* De Wild, *E. grandis* W. Hill ex Maiden, *M. scabrella* Benth e *A. glazioviana* Baill, no 1º, 3º e 5º ano após o plantio.

## 8.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 8.2.1 Caracterização da área de 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, ou seja, subtropical úmido com temperatura média anual de 19,1°C, variando com máxima de 38° C e mínimo de 0° C, apresentando uma precipitação média anual de 1606 mm. 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 uma 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 4x4x3, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill), quatro compartimentos (madeira, casca, galho e folha) e três períodos após o plantio (1º, 3º e 5º ano) em três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, onde a parcela foi representada pela 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 da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, profundo bem drenado, pertencente a unidade de mapeamento de Passo Fundo (EMBRAPA, 2006). A área do experimento esta em uma região de baixada, apresentando solo considerado bom de deposição. No seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de subsolagem e gradagem. O plantio foi realizado de forma manual, com posterior adubação NPK de 150 gramas por muda, em setembro de 2008.

### 8.2.2 Amostragem

A amostragem segue os procedimentos descritos no item 3.2.1.

### 8.2.3 Análise elementar

As amostras foram moídas e peneiradas, sendo utilizada a fração que passou pela peneira de 200 mesh e ficou retida na peneira de 270 mesh. A quantificação dos teores de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S), em relação à massa seca da madeira, foi realizada em um analisador universal da marca Elementar (modelo Vario Micro Cube) em duplicata. O analisador utiliza como gases de arraste e ignição o hélio e o oxigênio, respectivamente. As amostras de 2 mg foram acondicionadas em cápsulas de estanho e completamente incineradas a 1.200 °C. O teor de oxigênio (O) foi obtido por diferença em relação aos demais componentes elementares conforme a expressão proposta por PROTÁSIO *et al.* (2011), que segue:

$$O (\%) = 100\% - C (\%) - H (\%) - N (\%) - S (\%) - Cz (\%) \quad (21)$$

Em que:

O = teor de oxigênio (%);

C = teor de carbono (%);

H = teor de hidrogênio (%);

N = teor de nitrogênio (%);

S = teor de enxofre (%);

Cz = teor de cinzas (%).

#### 8.2.4 Análise dos dados

A análise dos dados segue os procedimentos descritos no item 3.2.3.

### 8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferença significativa para os constituintes elementares entre as quatro espécies florestais, entre os três períodos avaliados e entre os quatro compartimentos da biomassa estudados. Da mesma forma, observou-se esta característica para as interações espécie x compartimento e para ano x compartimento nos constituintes elementares C e O. Assim como, para a interação tripla espécie x compartimento x ano para H, N e S (TABELA 22).

No primeiro ano de avaliação, os maiores valores médios de C foram observados de uma forma geral, para a *A. mearnsii*, no compartimento galho (48,31%), não diferenciando da folha (47,92) e da casca (47,31). Para os teores de H e N esta característica foi verificada para *A. glazioviana* em todos os compartimentos da biomassa, mas principalmente para o compartimento galho (6,06%) e casca (3,96%), respectivamente, também foi superior às outras espécies para H, enquanto que para N foi superior as outras espécies e diferente entre compartimentos (casca>galho>madeira). Em relação ao O, os maiores valores foram

relatados para a madeira nas quatro espécies estudadas, alcançando o valor médio de (49,64%) para a *A. mearnsii* que não diferiu estatisticamente das outras espécies, enquanto que para os compartimentos casca e galho o *E. grandis* foi superior as demais espécies (TABELA 23).

TABELA 22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NOS TRÊS PERÍODOS APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Fator de Variação	GL	Efeito Principal				
		Quadrado Médio				
		C	H	N	O	S
Espécie	3	104,419*	3,376*	15,754*	190,339*	0,047*
Compartimento	3	89,853*	3,621*	29,721*	234,682*	0,078*
Espécie x compartimento	8	36,769*	0,665*	0,822*	52,626*	0,011*
Bloco	2	0,122 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,153 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>
Erro A	30	0,826	0,014	0,011	0,160	0,001
* Significativo à probabilidade de erro tipo A						
Ano	2	7,366*	0,384*	0,707*	6,516*	0,012*
Ano x espécie	6	1,290 <sup>ns</sup>	0,062*	0,136*	0,953 <sup>ns</sup>	0,003*
Ano x compartimento	6	3,765*	0,349*	0,334*	8,301*	0,014*
Ano x espécie x compartimento	16	1,239 <sup>ns</sup>	0,044*	0,096*	1,649 <sup>ns</sup>	0,004*
Erro B	58	0,735	0,011	0,014	0,978	0,001
* Significativo à probabilidade de erro tipo B						
Coeficiente de determinação		0,96	0,98	0,99	0,97	0,91
Coeficiente de variação (%)		1,9	1,8	6,2	2,1	46,1
Efeito Simples						
Ano x compartimento x espécie						
Ano	1	18,334*	0,625*	2,297*	32,483*	0,003*
	3	15,301*	0,529*	3,194*	14,423*	0,023*
	5	10,911*	0,896*	3,704*	8,163*	0,021*
Compartimento	Madeira	7,046*	0,065*	0,831*	4,348*	0,005*
	Casca	0,194 <sup>ns</sup>	1,085*	2,958*	0,010 <sup>ns</sup>	0,007*
	Galho	0,549 <sup>ns</sup>	0,214*	1,345*	3,051 <sup>ns</sup>	0,003*
	Folha	-	0,587*	0,520*	-	0,033*
Espécie	<i>A. mearnsii</i>	-	0,588*	2,254*	-	0,004*
	<i>M. scabrella</i>	-	0,133*	3,056*	-	0,027*
	<i>E. grandis</i>	-	1,191*	2,235*	-	0,015*
	<i>A. glazioveana</i>	-	0,006 <sup>ns</sup>	2,312*	-	0,002 <sup>ns</sup>

Em que: GL=Grau de liberdade; \*=significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; <sup>ns</sup>=não significativo a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO PRIMEIRO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Espécie	Compartimento			
	Madeira	Casca	Galho	Folha
Carbono				
<i>A. mearnsii</i>	43,77 abB	47,39 aA	48,31 aA	47,92 aA
<i>M. scabrella</i>	44,50 aC	44,93 bBC	46,17 bAB	46,75 abA
<i>E. grandis</i>	44,05 abB	37,33 cC	44,12 cB	45,83 bA
<i>A. glazioviana</i>	43,00 bB	44,13 bAB	44,97 cA	-
Hidrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	5,74 bAB	5,29 bC	5,82 bA	5,63 aB
<i>M. scabrella</i>	5,76 bA	5,43 bB	5,61 cA	5,78 aA
<i>E. grandis</i>	5,73 bA	4,15 cC	5,25 dB	5,35 bB
<i>A. glazioviana</i>	6,00 aA	5,93 aA	6,06 aA	-
Nitrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	0,82 bD	2,04 cC	2,28 bB	3,01 aA
<i>M. scabrella</i>	0,91 bD	2,28 bB	1,87 cC	2,97 aA
<i>E. grandis</i>	0,69 cD	1,05 dC	1,33 dB	2,59 bA
<i>A. glazioviana</i>	1,70 aC	3,96 aA	3,12 aB	-
Oxigênio				
<i>A. mearnsii</i>	49,64 aA	45,23 cB	43,52 cC	43,43 bC
<i>M. scabrella</i>	48,78 aA	47,26 bAB	46,28 bB	44,36 abC
<i>E. grandis</i>	49,49 aA	57,45 aB	49,26 aA	46,17 aC
<i>A. glazioviana</i>	49,23 aA	45,88 bcB	45,74 bB	-
Enxofre				
<i>A. mearnsii</i>	0,028 aA	0,046 bA	0,067 bA	0,013 bA
<i>M. scabrella</i>	0,056 aB	0,100 aAB	0,071 bB	0,140 aA
<i>E. grandis</i>	0,035 aA	0,028 bA	0,035 cA	0,075 abA
<i>A. glazioviana</i>	0,087 aA	0,085 aA	0,111 aA	-

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna comparando as espécies e maiúscula na linha comparando os compartimentos da biomassa, não diferem entre si, a 5% de probabilidade de erro, conforme o teste de médias de Tukey; - = não avaliado.

A variação das propriedades elementares no terceiro ano de idade do povoamento florestal foi muito semelhante há do primeiro ano. Ou seja, a *A. mearnsii* apresentou os maiores valores de C para todos os compartimentos, variando de 45,10% para a madeira, a 49,40% para a folha, sendo que esta demonstrou os maiores valores para todas as espécies estudadas. Da mesma forma, os teores de H e N apresentaram os maiores valores médios para a *A. glazioviana* destacando-se em todos os compartimentos, sendo de 5,94% para a

casca e galho, e de 3,66% para a casca, respectivamente. Já para o O, os maiores valores médios foram relatados para a madeira nas quatro espécies estudadas, alcançando o valor médio de 48,93% para a *M. scabrella*, não diferenciando da *A. mearnsii* e do *E. grandis*. Em relação ao S, os maiores valores foram relatados nos compartimentos casca (0,181%) e folha (0,363%) para a *M. scabrella* (TABELA 24).

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO TERCEIRO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Espécie	Compartimento			
	Madeira	Casca	Galho	Folha
Carbono				
<i>A. mearnsii</i>	45,10 aC	47,94 aB	47,39 aB	49,40 aA
<i>M. scabrella</i>	44,72 aB	44,43 bB	46,62 aA	46,53 bA
<i>E. grandis</i>	44,71 aB	38,23 cC	43,94 cB	47,08 bA
<i>A. glazioviana</i>	45,04 aAB	43,65 bB	45,29 bA	-
Hidrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	5,79 abB	5,49 bC	5,91 abB	6,28 aA
<i>M. scabrella</i>	5,55 cBC	5,42 bC	5,73 bB	6,03 bA
<i>E. grandis</i>	5,73 bA	4,45 cC	5,44 cB	5,88 bA
<i>A. glazioviana</i>	5,92 aA	5,94 aA	5,94 aA	-
Nitrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	0,80 bC	1,79 cB	1,62 cB	3,07 bA
<i>M. scabrella</i>	0,74 bD	2,19 bB	1,85 bC	3,55 aA
<i>E. grandis</i>	0,48 cD	1,09 dB	0,74 dC	2,72 bA
<i>A. glazioviana</i>	2,07 aC	3,66 aA	2,44 aB	-
Oxigênio				
<i>A. mearnsii</i>	48,27 abA	44,74 cB	45,04 bB	41,14 bC
<i>M. scabrella</i>	48,93 aA	47,77 bA	45,70 bB	43,54 aC
<i>E. grandis</i>	48,92 aB	56,19 aA	49,86 aB	44,21 aC
<i>A. glazioviana</i>	46,93 bA	46,67 bA	46,27 bA	-
Enxofre				
<i>A. mearnsii</i>	0,037 bB	0,042 cB	0,041 cB	0,112 bA
<i>M. scabrella</i>	0,060 bC	0,181 aB	0,103 aC	0,363 aA
<i>E. grandis</i>	0,156 aA	0,046 cB	0,014 dB	0,118 bA
<i>A. glazioviana</i>	0,036 bA	0,076 bA	0,059 bA	-

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna comparando as espécies e maiúscula na linha comparando os compartimentos da biomassa, não diferem entre si, a 5% de probabilidade de erro, conforme o teste de médias de Tukey; - = não avaliado.

Para o quinto ano, levando em consideração os diferentes compartimentos, observou-se que a folha apresentou de uma maneira geral, os maiores valores de C, H, N e S, para todas as espécies estudadas, a exceção da *A. glazioviana* em que não foi avaliado este compartimento. Este mesmo comportamento foi relatado para a madeira em relação ao O. Da mesma forma, quando comparamos as diferentes espécies, os valores mais elevados da madeira, casca e galho foram relatados para a espécie *A. glazioviana* em relação aos componentes elementares H e N, e para *E. grandis* e *M. scabrella* em relação ao O e S, respectivamente (TABELA 25).

TABELA 25 - VALORES MÉDIOS PARA OS CONSTITUINTES ELEMENTARES DA MADEIRA, CASCA, GALHO, FOLHA, DAS QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS, NO QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Espécie	Compartimento			
	Madeira	Casca	Galho	Folha
Carbono				
<i>A. mearnsii</i>	45,32 aC	48,93 aB	46,79 aB	51,67 aA
<i>M. scabrella</i>	45,62 aAB	44,60 bB	45,23 bB	46,73 bA
<i>E. grandis</i>	45,26 aB	37,80 cD	43,38 cC	48,20 bA
<i>A. glazioviana</i>	45,07 aB	43,69 bB	46,55 aA	-
Hidrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	5,70 bB	5,29 bC	5,79 abB	6,92 aA
<i>M. scabrella</i>	5,59 bB	5,50 bB	5,61 bB	6,07 bA
<i>E. grandis</i>	5,67 bB	4,38 cD	5,32 cC	6,09 bA
<i>A. glazioviana</i>	6,02 aA	6,00 aA	6,02 aA	-
Nitrogênio				
<i>A. mearnsii</i>	0,49 cD	1,67 cB	1,38 cC	2,81 bA
<i>M. scabrella</i>	0,68 bD	2,08 bB	1,69 bC	3,77 aA
<i>E. grandis</i>	0,29 dD	0,68 dC	0,96 dB	2,54 bA
<i>A. glazioviana</i>	1,35 aC	3,77 aA	2,32 aB	-
Oxigênio				
<i>A. mearnsii</i>	48,49 aA	44,10 cC	46,02 bcB	38,48 bD
<i>M. scabrella</i>	48,08 aA	47,67 bA	47,42 bA	43,18 aB
<i>E. grandis</i>	48,77 aB	57,12 aA	50,34 aB	42,93 aC
<i>A. glazioviana</i>	47,54 aA	46,48 bAB	45,06 cB	-
Enxofre				
<i>A. mearnsii</i>	0,002 aB	0,014 cB	0,013 bB	0,125 bA
<i>M. scabrella</i>	0,030 aC	0,143 aB	0,055 aC	0,249 aA
<i>E. grandis</i>	0,004 aB	0,013 cB	0,012 bB	0,246 aA
<i>A. glazioviana</i>	0,024 aA	0,057 bA	0,053 aA	-

Em que: Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna comparando as espécies e maiúscula na linha comparando os compartimentos da biomassa, não diferem entre si, a 5% de probabilidade de erro, conforme o teste de médias de Tukey; - = não avaliado.

Os valores da composição química elementar da madeira observados neste trabalho estão de acordo com os relatados na literatura para o gênero *Eucalyptus*, de aproximadamente 48% de C, 6% de H, 45% de O, 0,15% de N e 0,01% de S (BARCELLOS *et al.*, 2005; BRAND, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2010; NEVES *et al.*, 2011; NEVES *et al.*, 2013; PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; SANTANA *et al.*, 2012).

Quando analisadas as equações significativas ao longo do tempo até o quinto ano após o plantio, para o teor de C observou-se tendência crescente para a casca e a folha da *A. mearnsii* (FIGURA 7A), para a folha do *E. grandis* (FIGURA 7B) e para a madeira da *A. glazioviana* (FIGURA 7C). Da mesma forma, observou-se esta característica para o teor de H da folha das espécies *A. mearnsii*, *M. scabrella* e *E. grandis* (FIGURA 7D).

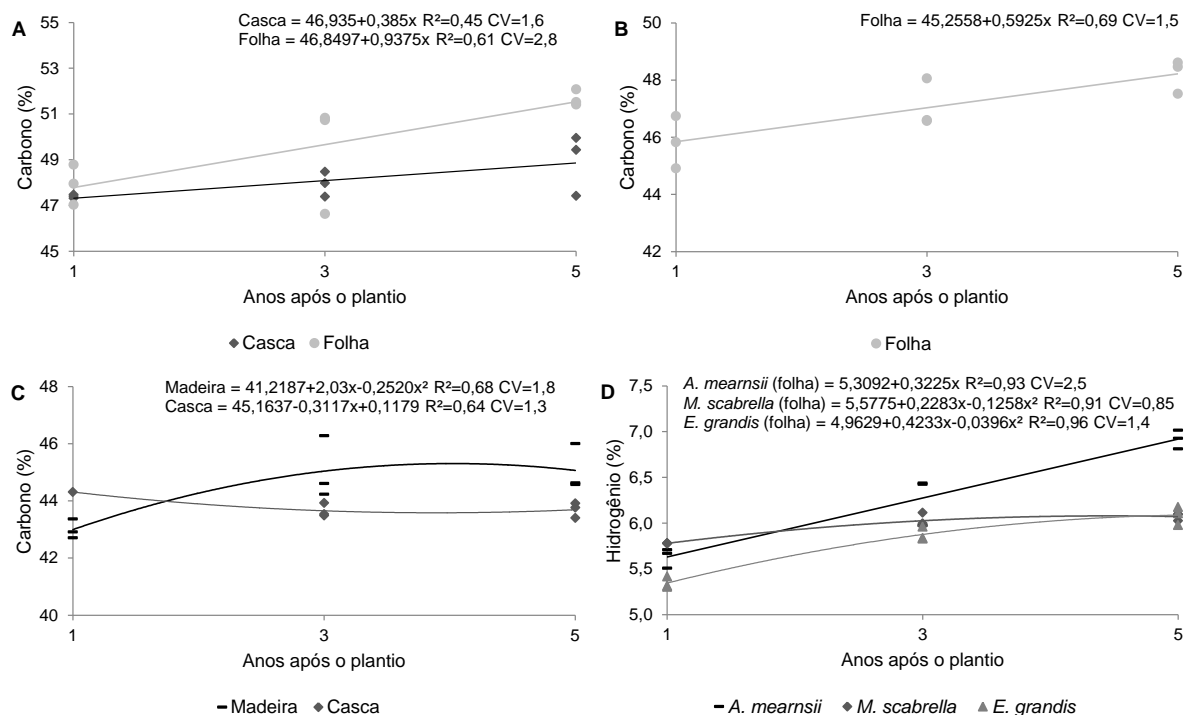


FIGURA 7 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE CARBONO DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *E. grandis* (B), *A. glazioviana* (C) E PARA O TEOR DE HIDROGÊNIO NA FOLHA DAS ESPÉCIES FLORESTAIS *A. mearnsii*, *M. scabrella* E *E. grandis* (D) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

O uso da biomassa como biocombustível para fornecimento energético requer a sua caracterização elementar, principalmente pelo fato da biomassa quando destinada a energia deve conter menores quantidades de O e elevados teores de C e H, pois estes componentes elementares apresentam correlações diretas com o poder calorífico (PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2009; DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2004; OBERNBERGER; BRUNNER; BÄRNTHALER, 2006; VALE *et al.*, 2000). Para os mesmos autores, um aumento do teor de O e uma diminuição do teor de H ou C tende a diminuir o poder calorífico da biomassa.

Para PROTÁSIO *et al.* (2011), baixos valores de H na composição da madeira resultam em uma alta relação C/H, fato este indesejável quando se visa à produção de energia, pois pequenos acréscimos no teor de H proporcionam elevados ganhos no valor calórico da biomassa. Esses mesmos autores, relataram por meio da análise de regressão linear simples que a cada 1% de acréscimo no teor de H ocorre um aumento de aproximadamente  $515 \text{ kcal kg}^{-1}$  no poder calorífico da biomassa. Estes, ainda observaram que a cada 1% de acréscimo no teor de C ocorre um aumento de  $64,14 \text{ kcal kg}^{-1}$  no valor calórico da biomassa.

Apesar do teor de H não apresentar diferença estatística com a idade das árvores para madeira, casca e galho (FIGURA 7D), ressalta-se que o mesmo contribui significativamente para o aumento do valor calórico do combustível (DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2004; HUANG *et al.*, 2009; PAULA *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2011). Assim, recomenda-se levar em consideração a proporção dos demais constituintes químicos elementares para a seleção e a avaliação da madeira nas idades consideradas, visando ao seu uso energético.

Em relação às equações significativas para o teor de N, relata-se uma tendência decrescente da madeira, casca e galho da *A. mearnsii* (FIGURA 8A) e da *M. scabrella* (FIGURA 8B), assim como, da madeira e casca do *E. grandis* (FIGURA 8C) e da casca e galho da *A. glazioviana* (FIGURA 8D). Da mesma forma, observou-se esta tendência para o teor de O da folha das espécies *A. mearnsii* (FIGURA 8E), *M. scabrella* (FIGURA 8F) e *E. grandis* (FIGURA 8G).

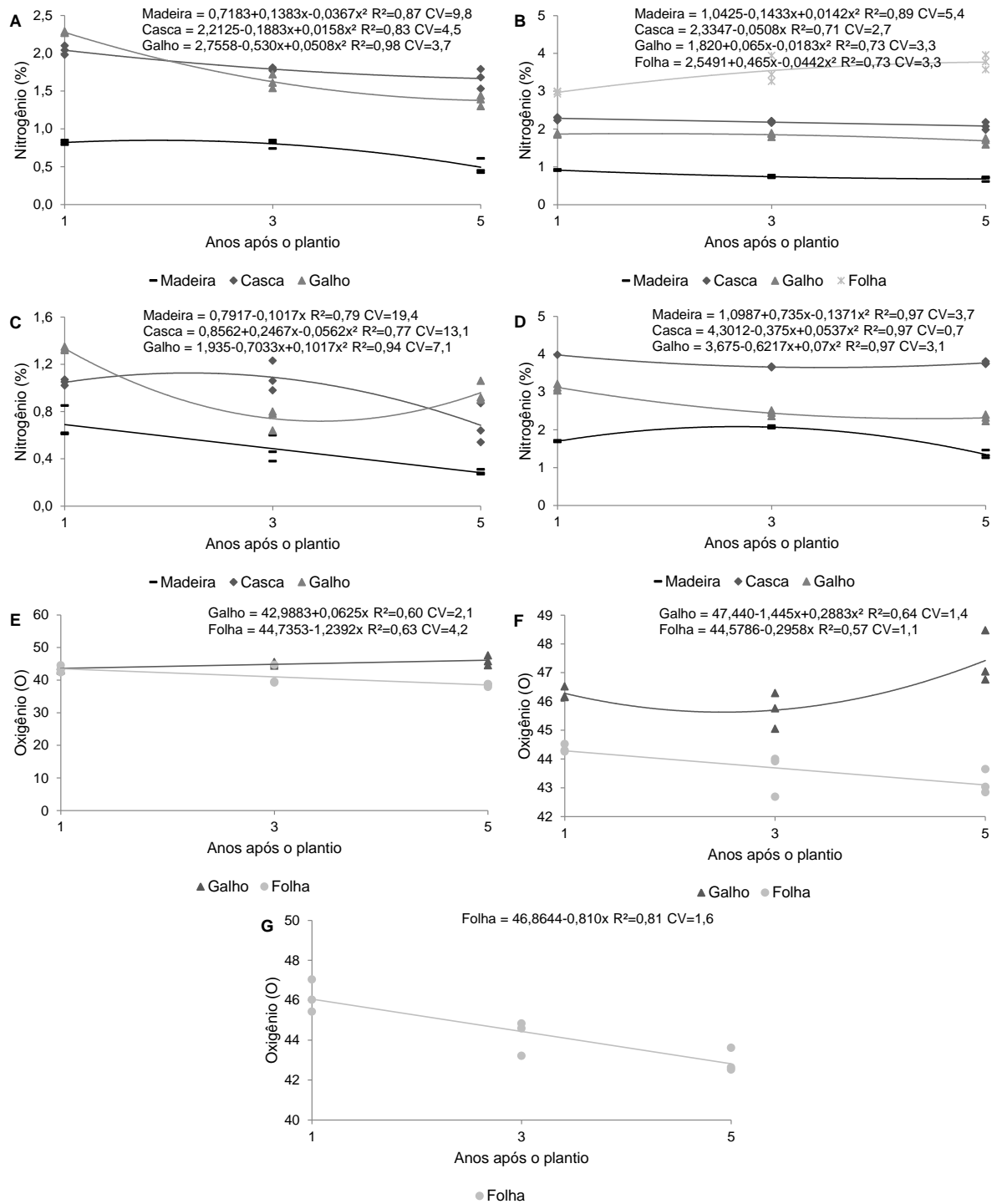


FIGURA 8 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE NITROGÊNIO DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *M. scabrella* (B), *E. grandis* (C) E *A. glazioviana* (D); E PARA O TEOR DE OXIGÊNIO NOS COMPARTIMENTOS GALHO E FOLHA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (E), *M. scabrella* (F) E FOLHA PARA *E. grandis* (G) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

A tendência de diminuição do teor de N na madeira com o aumento da idade, também foi verificada por Neves *et al.* (2013) e Santana *et al.* (2012) estudando clones de *Eucalyptus*. No entanto, a concentração de N observado neste estudo, foi superior aos encontrados na literatura. Isso pode ocorrer em função das diferenças genéticas e, conseqüentemente, fisiológicas das árvores, bem como dos aspectos relacionados à fertilidade do solo e à adubação.

Ainda com relação ao teor de N, altas relações C/N implicam em uma quantidade menor de N a ser liberada para o ambiente após a combustão da biomassa. O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fixado na biomassa e liberado para a atmosfera pelo processo de combustão é dependente de fatores externos ao processo, sendo que a velocidade de liberação é determinada principalmente pela temperatura e umidade do material combustível, e da relação C/N da biomassa (SCHNEIDER *et al.*, 2005). Da mesma forma, quanto menor for esta relação, mais rápida será a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera durante a combustão, fato que não é desejável, pois este gás é um dos responsáveis por potencializar o efeito estufa (CAMPOS, 2008).

Quando relacionamos às equações significativas para o teor de S, observa-se uma tendência decrescente da madeira, casca e galho da *A. mearnsii* (FIGURA 9A) e *A. glazioviana* (FIGURA 9D) e, do galho do *E. grandis* (FIGURA 9C).

Os valores de S observados neste trabalho estão de acordo com os aceitáveis pela siderurgia, ou seja, todos abaixo de 0,5% (ASSIS *et al.*, 2012). Os elementos S e N contribuem relativamente pouco na liberação de energia de um combustível (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008), apresentando correlação negativa com o poder calorífico (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008; HUANG *et al.*, 2009; KUMAR *et al.*, 2010), e quando se verifica altos teores, podem ocasionar poluição do ambiente quando liberados na atmosfera após a combustão completa do combustível.

O N está diretamente relacionado com a emissão de componentes NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio tóxicos), corrosão e deposição de cinzas (DEMIRBAS, 2004). Em contrapartida, o S relaciona-se com a formação de chuva ácida e, conseqüentemente, corrosão (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008). Além de, quando presente em grandes concentrações o S pode ocasionar a formação de FeCl<sub>2</sub> e ZnCl<sub>2</sub>, componentes corrosivos nas caldeiras (TELMO *et al.*, 2010).

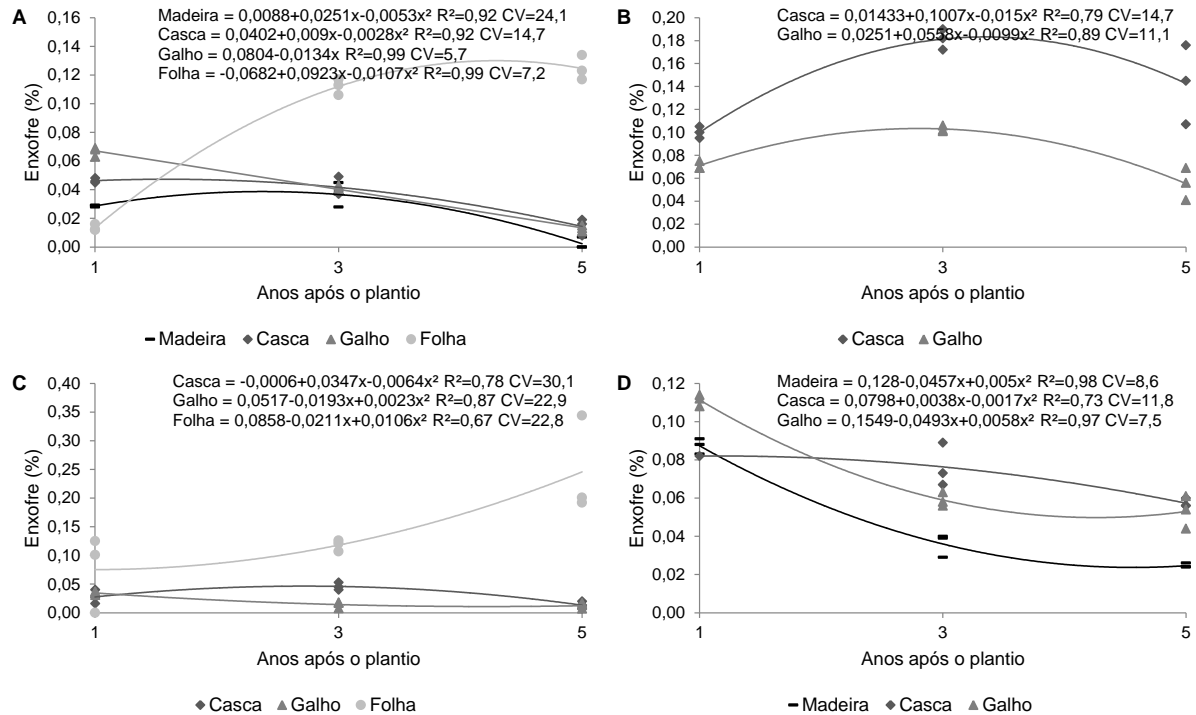


FIGURA 9 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA O TEOR DE ENXOFRE DOS QUATRO COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA DAS ESPÉCIES *A. mearnsii* (A), *M. scabrella* (B), *E. grandis* (C) E *A. glazioviana* (D) NO PRIMEIRO, TERCEIRO E QUINTO ANO APÓS O PLANTIO, NO MUNICÍPIO DE FREDERICO WESTPHALEN-RS.

Dessa forma, como se observa para a maioria das madeiras, as baixas concentrações de S não impedem a sua utilização energética, assemelhando-se a outras biomassas relatadas na literatura (BUFALINO *et al.*, 2012; NEVES *et al.*, 2011; PAULA *et al.*, 2011; BRAND, 2010). Assim, baixas proporções desse componente sugere que os compartimentos da biomassa estudados são ambientalmente adequados para produção de energia (PATTIYA, 2011).

## 8.4 CONCLUSÃO

As três idades induzem a um efeito significativo nos constituintes elementares da biomassa, gerando:

- Uma distribuição crescente para o teor de H da folha da *A. mearnsii*, *M. scabrella* e *E. grandis* e, para o teor de C da casca e folha da *A. mearnsii*, da folha do *E. grandis* e da madeira da *A. glazioviana*.

- E uma distribuição decrescente do teor de N da madeira, casca e galho da *A. mearnsii* e *M. scabrella*, da madeira e casca do *E. grandis* e, do galho da *A. glazioviana*. Assim como, para o teor de O da folha da *A. mearnsii*, *M. scabrella* e *E. grandis* e, para o teor de S da madeira, casca e galho da *A. mearnsii* e *A. glazioviana* e, para o galho do *E. grandis*.

As quatro espécies florestais e os quatro compartimentos da biomassa diferenciam-se em relação aos constituintes elementares.

Os valores mais elevados dos constituintes elementares de H e N são verificados para a *A. glazioviana*, os de C de uma forma geral, para a *A. mearnsii*, os de S para *M. scabrella* e os maiores valores de O foram relatados para o *E. grandis*.

## REFERÊNCIAS

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 141-158, 2005.

BILGEN, S.; KAYGUSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, v. 85, n. 8, p. 776-785, 2008.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, H. A. Estimating the calorific values of lignocellulosic fuels. **Journal Energy, Exploration & Exploitation**, Georgetown, v. 20, n. 1, p. 105-111, 2004.

DERMIBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, Pittsburgh, v. 30, n. 2, p. 219-230, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 eds. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

HUANG, C.; HAN, L.; YANG, Z.; LIU, X. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 1793–1797, 2009.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid. **Journal of Forestry Research**, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

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.

MOGHTADERI, B.; SHENG, C.; WALL, T. F. An overview of the Australian biomass resources and utilization technologies. **BioResources**, Raleigh, v. 1, n. 1, p. 93-115, 2006.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BÄRNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass & Bioenergy**, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2006.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PATTIYA, A. Thermochemical characterization of agricultural wastes from thai cassava plantations. **Energy Sources Part A: recovery utilization and environmental effects**, London, v. 33, n. 8, p. 691-701, 2011.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 31, n. 66, p. 113-122, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

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

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, p. 113-126, 2006.

TELMO, C.; LOUSADA, J.; MOREIRA, N. Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 11, p. 3808-3815, 2010.

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

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos resultados obtidos neste trabalho, levando-se em consideração o objetivo geral e respondendo as hipóteses propostas, conclui-se que:

As quatro espécies florestais apresentam diferença em relação à produção dos diferentes compartimentos da biomassa, assim como para os constituintes elementares. O *E. grandis* e a *A. mearnsii* apresentam os maiores valores de biomassa, seguido da *M. scabrella* e *A. glazioviana*, concentrando-se principalmente na madeira e nos galhos, e posteriormente, na folha e na casca.

Os quatro espaçamentos de plantio influenciam nas propriedades energéticas. O aumento da densidade de plantio apresenta uma relação direta com a produção de BIO e PE por unidade de área, nas diferentes idades de avaliação para as quatro espécies, ou seja, os espaçamentos mais adensados proporcionam maiores valores destas variáveis. Esses também induzem a diferentes resultados de PCS e ME para a *A. mearnsii*.

As três idades influenciam significativamente nas propriedades energéticas, assim como para os constituintes elementares, proporcionando uma distribuição crescente da BIO, PE, ME, DE e CF para *E. grandis* e *A. glazioviana*, sendo que no 5º ano após o plantio, são verificados os maiores valores. Da mesma forma, ocorre essa tendência para BIO, PE, ME e DE da *A. mearnsii* e, para as variáveis BIO, PE, DE, ME e CZ da *M. scabrella*, sem tendência a estabilização, com potencial de crescimento até o 5º ano de idade.

Os quatro compartimentos das árvores induzem a um efeito significativo nos constituintes elementares, assim como nas propriedades BIO, PE, PCS, CF, MV e CZ. Nas maiores idades, a BIO e PE da madeira são superiores, seguido pelo galho, folha e casca, respectivamente.

As quatro espécies florestais estudadas apresentam características energéticas desejáveis e que são corroborados por uma série de autores na literatura, que desenvolveram trabalhos científicos relacionados à influência do espaçamento e da idade do plantio.

Do ponto de vista energético, até o 5º ano do povoamento quanto maior a idade e menor o espaçamento de plantio, melhores são as propriedades energéticas

da biomassa, sendo recomendada a utilização do espaçamento 2,0 x 1,0 m para todas as espécies florestais estudadas, em plantios de curta rotação para uma maior produção de biomassa para fins energéticos.

A espécie *E. grandis*, apresenta as melhores características energéticas dentre as estudadas, que é influenciado principalmente pela elevada produção de biomassa por unidade de área, nos três períodos avaliados. Por este motivo, e por possibilitar uma ampla distribuição edafoclimática, é a espécie mais cultivada em reflorestamento no Brasil, sendo apontada como uma das melhores opções para a produção de energia em função de suas propriedades e por direcionar um ciclo de corte relativamente curto e com elevada produtividade.

A espécie *A. mearnsii* apresenta boas características energéticas, sendo recomendada a sua utilização para fins energéticos, principalmente por ser uma espécie de grande importância econômica no sul do País, com crescimento rápido, sendo a sua madeira destinada para energia e a casca para a indústria de taninos vegetais, é cultivada em milhares de pequenas propriedades rurais, exercendo um importante papel socioeconômico.

A espécie *M. scabrella* apresenta características energéticas satisfatórias, com um ciclo curto e crescimento rápido, sendo o seu uso direcionado principalmente para energia, fornecendo lenha e carvão de excelente qualidade, constituindo os sistemas de cultivo com produção de lenha mais antigo do sul do País, devido aos períodos de cultivo e condições locais.

A espécie *A. glazioviana* apesar de seu crescimento lento a demorado, apresenta potencialidade para utilização como fonte de energia, sendo considerada uma espécie precursora e agressiva, que invade os campos no norte do Rio Grande do Sul e no oeste de Santa Catarina, formando povoamentos densos, pelo seu vigor reprodutivo e vegetativo.

Assim, os resultados apresentados no presente trabalho são conclusivos para a idade dos povoamentos estudados quando se tem por objetivo a produção de biomassa para fins energéticos, expressando uma boa tendência da variação que as espécies apresentam quando dispostas aos diferentes tratamentos estudados.