



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

**FRANCISCO ITAMAR GONÇALVES MELGUEIRO**

**RESPOSTA À ADUBAÇÃO E ESPAÇAMENTO DE DUAS ESPÉCIES  
FLORESTAIS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

Manaus - AM  
2014

**FRANCISCO ITAMAR GONÇALVES MELGUEIRO**

**RESPOSTA À ADUBAÇÃO E ESPAÇAMENTO DE DUAS ESPÉCIES  
FLORESTAIS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Celso Paulo de Azevedo

Co-orientador: Prof. Dr. Roberval Monteiro Bezerra de Lima

Manaus - AM  
2014

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M521r Melgueiro, Francisco Itamar Gonçalves  
Resposta à adubação e espaçamento de duas espécies florestais  
para produção de energia na Amazônia Central / Francisco Itamar  
Gonçalves Melgueiro. 2014  
82 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Celso Paulo de Azevedo  
Coorientador: Roberval Monteiro Bezerra de Lima  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Plantios florestais. 2. Biomassa. 3. Teor de umidade. 4.  
Adubação fosfatada. I. Azevedo, Celso Paulo de II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

**FRANCISCO ITAMAR GONÇALVES MELGUEIRO**

**RESPOSTA À ADUBAÇÃO E ESPAÇAMENTO DE DUAS ESPÉCIES  
FLORESTAIS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA AMAZÔNIA  
CENTRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais área de concentração Manejo Florestal.

**BANCA EXAMINADORA**

*Dr. Celso Paulo de Azevedo*  
Embrapa Amazônia Ocidental  
Orientador e presidente da banca examinadora

*Dr. Roberval Monteiro Bezerra de Lima*  
Embrapa Amazônia Ocidental  
Primeiro examinador

*Dra. Claudete Nascimento*  
Segundo examinador  
INPA

Manaus, 16 de Julho de 2014

*A Deus por ter me guiado nesta caminhada;*

*Ao meu querido pai Elídio Melgueiro;*

*Minha querida mãe Mariana Gonçalves;*

*Aos meus irmãos e irmãs;*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade do Estado do Amazonas, por me aceitar como aluno nesse curso;

A Embrapa Amazônia Ocidental, por me conceder a oportunidade de realizar minha pesquisa, com o apoio na coleta, análises de dados, serviços de biblioteca e RH;

Ao Grupo André Maggi, representado pela Sílvia, Vagner e Jorjão, por sediar o local de pesquisa e apoio para implantação e realização desta pesquisa;

A reflorestadora Couto, pelo apoio no fornecimento de mão-de-obra e alimentação durante a coleta de dados, na pessoa do João Couto e Rosiney;

A CAPES, por me conceder a bolsa de estudo;

Ao Prof. Dr. Celso Paulo de Azevedo, pela ideia original do projeto, e por ter me aceitado como seu orientado, acreditando na minha capacidade para realização desse estudo;

Ao Prof. Dr. Roberval Monteiro Bezerra de Lima, pela co-orientação, por me ensinar um pouco mais sobre a silvicultura, estatística e apoio na coleta de dados;

Aos Drs. Componentes da banca examinadora, por terem me ajudado a melhorar este estudo com suas críticas;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais;

Aos pesquisadores, técnicos, motoristas, bolsistas e amigos da Embrapa Amazônia Ocidental, pelo apoio durante a coleta de dados;

Aos funcionários da secretaria de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais/UFAM, Antônia e Claudemiro;

Aos amigos do curso de Pós-graduação e do Laboratório de silvicultura da Embrapa, Roza Passos, José Cordeiro e Luana Garcia, pelo companheirismo e por ter me ajudado durante a pesquisa;

Aos companheiros que me ajudaram na coleta de dados de campo, Manoel (maneca), Manoel Caetano (conserva), Edson e Seliane;

Aos meus entes queridos Elídio Melgueiro, Mariana Gonçalves, Marlene Melgueiro e Jonas Melgueiro, pelo apoio e por acreditar sempre em mim.

## RESUMO

O *Sclerolobium paniculatum* pertencente à família Fabaceae, possui boa adaptação a solos mais arenosos e pobres em nutrientes. Pertencente família Myrtaceae, *Eucalyptus urograndis*, ocorre em diferentes condições ambientais, com solos de alta e baixa fertilidade. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o crescimento de *Eucalyptus urograndis* e *Sclerolobium paniculatum*, sob diferentes espaçamentos e doses de adubação fosfatada para a produção energética no município de Itacoatiara-AM. Foram implantados 45 parcelas, com bordadura de 18 e 10 plantas úteis/parcela. O delineamento foi em parcelas subdivididas em blocos. Determinou-se a taxa de mortalidade; crescimento em altura, diâmetro e volume; produção e ajuste de modelos de regressão para biomassa; fator de empilhamento e caracterização da madeira para produção de energia. Conclui-se para *S. paniculatum* que não houve influência do fator espaçamento, dosagem de fósforo e da interação no crescimento em diâmetro, altura e volume das espécies. A dosagem de fósforo influenciou a produção de biomassa. Considerando todos os espaçamentos, o modelo quadrático do volume em função da dosagem ( $V = 72,4186 + 1,2225D - 0,0076D^2 - R^2 = 0,9484$ ) foi o que melhor se ajustou aos dados com ponto de máxima  $P = (73,85g, 113,87 \text{ m}^3/\text{ha})$ . O espaçamento 2m x 2m foi o único que apresentou regressão do volume em função da dosagem ( $V = 86,5475 + 1,9047D - 0,0142D^2 - R^2 = 0,9991$ ) com ponto de máxima  $P = (60,07g, 149,72 \text{ m}^3/\text{ha})$ . Os valores de biomassa foi maior no fuste (25,64 kg) e o teor de água foi superior nas folhas (50,59 %). A biomassa apresentou resultado significativo somente para o fator dosagem, com a maior produção de 90g (85,56 Mg/ha) e 60g (81,96 Mg/ha). Considerando todos os espaçamentos o modelo que melhor se ajustou aos dados de biomassa em função da dosagem foi  $\text{Biom} = 46,6273 + 0,9839D - 0,0065D^2 - R^2 = 0,9676$ , com ponto de máxima  $P = (75,68g, 86,83\text{Mg/ha})$ . Só houve regressão para biomassa no espaçamento 2m x 2m,  $\text{Biom} = 49,6725 + 1,8226D - 0,0137D^2 - R^2 = 0,9804$ , com ponto de  $P = (66,45g, 110,16 \text{ Mg/ha})$ . O fator de empilhamento foi de 0,63, a densidade básica média foi de  $0,61\text{g/cm}^3$  e o teor de umidade de 80,54 %. O melhor modelo ajustado para biomassa acima do solo foi dado pela equação  $\text{Ps} = -0,091850d + 0,424990d^2$ , com  $R^2$  ajustado de 94,28 % e Syx de 11,13 %. Com base no poder calorífico a madeira da espécie *S. paniculatum* foi considerado propícia para a produção de energia. Conclui-se para *E. urograndis* que a dosagem de fósforo influenciou significativamente a taxa de mortalidade, o crescimento em altura, diâmetro e na produção em volume. Considerando todos os espaçamentos, a relação entre o volume e a dosagem de fósforo é linear,  $V = 18,5657 + 1,3367D, R^2 = 0,9768$ . Houve regressão entre o volume e a dosagem de fósforo para os três espaçamentos testados. A Interação do fator dosagem de fósforo e espaçamento foi significativo, assim, no espaçamento 2m x 2m as doses de 90g e 120g não diferem e se mostram eficientes. Considerando todos os espaçamentos o modelo que mais se ajustou aos dados de biomassa em função da dosagem foi  $\text{Biom} = 8,1120 + 0,7204D - R^2 = 0,9885$ . Houve regressão entre a biomassa e a dosagem de fósforo para os três espaçamentos testados. O fator de empilhamento foi de 0,64, a densidade básica média foi de  $0,46\text{g/cm}^3$ . O teor de umidade apresentou resultado significativo somente para o fator dosagem, com as doses de 120g (97,60 %) e 90g (104,40 %) superior as demais. O melhor modelo ajustado para biomassa acima do solo foi dado pela equação  $\text{LnPs} = -2,252810 + 2,419040\text{Lnd}$ , com  $R^2$  ajustado de 94,49 % e Syx de 4,76 %. Com base no poder calorífico a madeira da espécie *E. urograndis* foi considerado propícia para a produção de energia.

**Palavras-chave:** plantios florestais; crescimento; biomassa; energia.

## ABSTRACT

The *Sclerolobium paniculatum* belonging to the Fabaceae family, has good adaptation to more sandy and poor in nutrients. Belonging Myrtaceae *Eucalyptus urograndis* occurs in different environmental conditions, soils with high and low fertility. The objective of this research was to evaluate the growth of *Eucalyptus urograndis* and *Sclerolobium paniculatum* under different spacings and levels of phosphate fertilization on energy production in Itacoatiara-AM. 45 installments, with surround 18 et 10 useful plants / plot were deployed. The design was split plot in blocks. We determined the death rate; growth in height, diameter and volume; production and adjustment of regression models for biomass; stacking factor and characterization of wood for energy production. The conclusion for *S. paniculatum* that there was no influence of the spacing factor, serum phosphorus and interaction on growth in diameter, height and volume of the species. The amount of phosphorus influenced biomass production. Considering all spacings, the quadratic model of the volume as a function of dose ( $V = 72.4186 + 1,2225D - 0,0076D^2 - R^2 = 0.9484$ ) was the best fit to the data with maximum point  $P = (73,85g, 113.87 \text{ m}^3/\text{ha})$ . The spacing of 2m x 2m was the one who showed regression of volume due to the dosage ( $V = 86, 5475 + 1,9047D - 0,0142D^2 - R^2 = 0.9991$ ) with maximum point  $P = (60,07g, 149.72 \text{ m}^3/\text{h})$ . The biomass values was greater in the shank (25.64 kg) and the water content in leaves was higher (50.59%). The biomass showed significant results only for the dosage factor, with the highest production of 90g (85.56 Mg/ha) and 60g (81.96 Mg/ha). Considering all the spacings model that best fit the data of biomass as a function of dose was  $\text{Biom} = 46.6273 + 0,9839D - 0,0065D^2 - R^2 = 0.9676$ , with maximum point  $P = (75,68g, 86,83 \text{ Mg/ha})$ . Only there was regression to biomass at 2m x 2m spacing,  $\text{Biom} = 49.6725 + 1,8226D - 0,0137D^2 - R^2 = 0.9804$ , with point  $P = (66,45g, 110.16 \text{ Mg/ha})$ . The stacking factor was 0.63, the average basic density was  $0,61\text{g}/\text{cm}^3$  and the moisture content of 80.54%. The best fitted model for aboveground biomass was given by equation  $\text{Ps} = -0,091850d + 0,424990d^2$ , with adjusted  $R^2$  of 94.28% and 11.13% of Syx. Based on the calorific value of the wood species *S. paniculatum* was considered favorable for the production of energy. The conclusion for *E. urograndis* the amount of phosphorus significantly influenced the mortality rate, growth in height, diameter and volume production. Considering all the spacing, the ratio between the volume and the amount of phosphorus is linear,  $V = 18.5657 + 1,3367D, R^2 = 0.9768$ . There regression between the dose and the volume of phosphorus in the three spacings tested. The interaction factor dose of phosphorus and spacing was significant as well, spaced 2m x 2m doses of 90g and 120g not differ and show efficient. Considering all the spacings model that best fit the data of biomass depending on the dosage was  $\text{Biom} = 8.1120 + 0,7204D - R^2 = 0.9885$ . There was regression between biomass and the amount of phosphorus for the three spacings tested. The stacking factor was 0.64, the average basic density was  $0.46 \text{ g}/\text{cm}^3$ . The moisture content showed significant results only for the dosage factor at doses of 120g (97.60%) and 90g (104.40%) higher than the other. The best fitted model for aboveground biomass was given by equation  $\text{LNPS} = -2.252810 + 2,419040\text{Lnd}$ , with adjusted  $R^2$  of 94.49% and 4.76% of Syx. Based on the calorific value of the wood species *E. urograndis* was considered favorable for the production of energy.

**Key-words:** forest plantations; growth; biomass; energy.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Mapa de localização da Fazenda Nova Esperança II e dos plantios de <i>E. urograndi</i> e <i>S. paniculatum</i> , Itacoatiara - AM.....                                                                                           | 26 |
| Figura 2 - Croqui do plantio experimental.....                                                                                                                                                                                              | 27 |
| Figura 3 - Plantas úteis por parcela alocadas conforme os espaçamentos.....                                                                                                                                                                 | 28 |
| Figura 4 - Esquema do experimento com parcelas subdivididas, no delineamento em bloco ao acaso, com destaque para a parcela principal (PP) e a subparcela (SP).....                                                                         | 28 |
| Figura 5 - Esquema de coleta de dados de árvores abatidas para calcular o volume real.....                                                                                                                                                  | 30 |
| Figura 6 - Separação da biomassa por compartimento da árvore (Figura 6A), pesagem do fuste (Figura 6B), galho (Figura 6C) e folha (Figura 6D). Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                  | 32 |
| Figura 7 - Amostra de folha, galho e disco de cada compartimento para a determinação do teor de água da madeira. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                                | 33 |
| Figura 8 - Mensuração da pilha de madeira para o cálculo do fator de empilhamento. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                                                              | 34 |
| Figura 9 - Determinação da densidade básica através do densímetro digital pela mensuração do peso seco (Figura 9A) e peso molhado da amostra (Figura 9B), utilizando liquido como referência.....                                           | 35 |
| Figura 10 - Análise do poder calorífico através da bomba calorimétrica, utilizando grãos de madeiras secas (Figura 10A) pelo enchimento da bomba (Figura 10B), leitura no calorímetro (Figura 10C) e esfriamento da bomba (Figura 10D)..... | 36 |
| Figura 11 - Coleta de uma amostra composta de solo em cada parcela (Figura 11A), na profundidade de 0 - 20 e 20 - 40 cm (Figura 11B) para análise química e física. Itacoatiara - AM, 2014.....                                             | 37 |
| Figura 12 - Coleta de amostra de folha em cada parcela para análise nutricional do plantio. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                                                     | 38 |
| Figura 13 - Regressão do volume de <i>S. paniculatum</i> em função das doses de fósforo.....                                                                                                                                                | 48 |
| Figura 14 - Regressão do volume de <i>S. paniculatum</i> em função das doses de fósforo para cada espaçamento.....                                                                                                                          | 49 |

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15 - Biomassa por compartimento em porcentagem no plantio de <i>S. paniculatum</i> , aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014..... | 50 |
| Figura 16 - Percentual de biomassa dos compartimentos por níveis de adubação e espaçamento para <i>S. paniculatum</i> .....                 | 52 |
| Figura 17 - Regressão da biomassa de <i>S. paniculatum</i> em função das doses de fósforo.....                                              | 54 |
| Figura 18 - Regressão de biomassa de <i>S. paniculatum</i> em função das doses de fósforo por espaçamento.....                              | 55 |
| Figura 19 - Resíduos das equações de biomassa para <i>S. paniculatum</i> . Itacoatiara - AM, 2014.....                                      | 59 |
| Figura 20 - Regressão do volume de <i>E. urograndis</i> em função das doses de fósforo.....                                                 | 64 |
| Figura 21 - Regressão do volume de <i>E. urograndis</i> em função das doses de fósforo para cada espaçamento.....                           | 65 |
| Figura 22 - Biomassa por compartimento em porcentagem no plantio de <i>E. urograndis</i> , aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....  | 66 |
| Figura 23 - Percentual de biomassa dos compartimentos por níveis de adubação e espaçamento para <i>E. urograndis</i> .....                  | 68 |
| Figura 24 - Regressão da biomassa de <i>E. urograndis</i> em função das doses de fósforo.....                                               | 69 |
| Figura 25 - Regressão da biomassa de <i>E. urograndis</i> em função das doses de fósforo por espaçamento.....                               | 70 |
| Figura 26 - Resíduos das equações de biomassa para <i>E. urograndis</i> , Itacoatiara, 2014.....                                            | 75 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Desenvolvimento do <i>E. urograndis</i> aos 2,5 anos de idade (espaçamento 3 x 2) em Confiança, Boa Vista - RR.....                                                                                                                                        | 21 |
| Tabela 2 - Análise da variância para experimento com parcelas subdivididas, em blocos ao acaso.....                                                                                                                                                                   | 38 |
| Tabela 3 - Equações alométricas para ajuste de biomassa acima do solo.....                                                                                                                                                                                            | 40 |
| Tabela 4 - Valores de referência para avaliar a qualidade da madeira para energia.....                                                                                                                                                                                | 41 |
| Tabela 5 - Valores médios da taxa de mortalidade para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                   | 42 |
| Tabela 6 - Valores médio do crescimento em Altura para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                              | 44 |
| Tabela 7 - Valores médios do crescimento em diâmetro (DAP) para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                     | 45 |
| Tabela 8 - Valores médios de volume em m <sup>3</sup> /ha para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagem de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                           | 47 |
| Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão de biomassa seca e teor de água, obtidos por cada compartimentos do plantio de <i>Sclerolobium paniculatum</i> aos cinco anos de idade.....                                                                                 | 50 |
| Tabela 10 - Valores médios, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão de biomassa do plantio de <i>S. paniculatum</i> aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                              | 51 |
| Tabela 11 - Valores médios de biomassa Mg/ha para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagens de fósforo (P), aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                            | 53 |
| Tabela 12 - Fator de cubicação (Fc) e empilhamento (Fe) obtido pela razão de volumes; onde Desvpad corresponde a desvio padrão e CV ao coeficiente de variação em percentual no plantio de <i>S. paniculatum</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014..... | 55 |
| Tabela 13 - Valores médios de Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> ) para <i>S. paniculatum</i> com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                     | 56 |
| Tabela 14 - Densidade média (g/cm <sup>3</sup> ) por compartimento para a madeira de <i>S. paniculatum</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                            | 56 |
| Tabela 15 - Teor de umidade (%) por compartimento para a madeira de <i>S. paniculatum</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                                             | 57 |
| Tabela 16 - Teor de umidade médio (%) por compartimento para a madeira de <i>S. paniculatum</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                                       | 57 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 17 - Estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais ajustados e medidas de precisão para estimar biomassa acima do solo de <i>S. paniculatum</i> , aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.....                                                   | 58 |
| Tabela 18 - Valores médios da taxa de mortalidade para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo (P), aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                       | 60 |
| Tabela 19 - Valores médios do crescimento em Altura para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo (P) aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                      | 61 |
| Tabela 20 - Valores médios de crescimento em diâmetro (DAP) para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo (P) aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                              | 62 |
| Tabela 21 - Valores médios de volume em m <sup>3</sup> /ha para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                   | 64 |
| Tabela 22 - Valores médios e desvio padrão de biomassa seca e teor de água, obtidos por cada compartimentos do plantio de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                          | 66 |
| Tabela 23 - Valor médio, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão de biomassa do plantio de <i>E. urograndis</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                      | 67 |
| Tabela 24 - Valores médios de biomassa Mg/ha para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                        | 68 |
| Tabela 25 - Fator de cubicação (Fc) e empilhamento (Fe) obtido pela razão de volumes; onde Desvpad corresponde a desvio padrão e CV ao coeficiente de variação em percentual no plantio de <i>E. urograndis</i> aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014..... | 71 |
| Tabela 26 - Valores médios de Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> ) para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                | 72 |
| Tabela 27 - Densidade básica média por árvore e compartimento ao longo do fuste para a madeira de <i>E. urograndis</i> , aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                        | 72 |
| Tabela 28 - Valores médios de Teor de Umidade (%) para <i>E. urograndis</i> com cinco dosagens de fósforo, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.....                                                                                                           | 73 |
| Tabela 29 - Teores de umidade e densidade básica média por árvore e compartimento para a madeira de <i>E. urograndis</i> , aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.....                                                                                      | 73 |
| Tabela 30 - Estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais ajustados e medidas de precisão para estimar biomassa acima do solo de <i>E. urograndis</i> , aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.....                                                    | 74 |
| Tabela 31 – Teste t para densidade básica (g/cm <sup>3</sup> ) e poder calorífico superior (PCS kcal/kg) em comparação com o Valor de Referência (VR) no plantio de <i>S. paniculatum</i> e <i>E. urograndis</i> .....                                               | 76 |

## SUMÁRIO

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                 | <b>14</b> |
| 1.1 GERAL .....                                                           | 15        |
| 1.1.1 Objetivos específicos.....                                          | 15        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                       | <b>16</b> |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES .....                             | 16        |
| 2.1.1 <i>Eucalyptus urograndis</i> .....                                  | 16        |
| 2.1.2 Taxi-branco ( <i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel).....           | 16        |
| 2.2 FERTILIDADE DO SOLO E AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA PLANTA ..... | 17        |
| 2.3 ESPAÇAMENTO.....                                                      | 18        |
| 2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA.....                                               | 20        |
| 2.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA .....                                 | 21        |
| 2.5.1 Poder calorífico .....                                              | 21        |
| 2.5.2 Teor de Umidade .....                                               | 22        |
| 2.5.3 Densidade .....                                                     | 22        |
| 2.5.4 Teor de cinza .....                                                 | 22        |
| 2.6 BIOMASSA FLORESTAL .....                                              | 24        |
| 2.6.1 Alometria .....                                                     | 24        |
| 2.6.2 Estimativas da biomassa .....                                       | 25        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                         | <b>26</b> |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                                | 26        |
| 3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO .....                                      | 27        |
| 3.2.1 Área experimental .....                                             | 27        |
| 3.2.2 Delineamento experimental .....                                     | 27        |
| 3.2.3 Preparo da área .....                                               | 29        |
| 3.2.4 Espaçamento .....                                                   | 29        |
| 3.2.5 Plantio .....                                                       | 29        |
| 3.2.6 Adubação.....                                                       | 29        |
| 3.2.7 Tratos culturais.....                                               | 29        |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 COLETA DE DADOS .....                                      | 29 |
| 3.3.1 Mortalidade.....                                         | 29 |
| 3.3.2 Volume.....                                              | 30 |
| 3.3.3 Biomassa .....                                           | 31 |
| 3.3.4 Fator de conversão .....                                 | 33 |
| 3.3.5 Caracterização da madeira para produção de energia ..... | 34 |
| a) Densidade básica .....                                      | 34 |
| b) Teor de umidade.....                                        | 35 |
| c) Poder calorífico .....                                      | 36 |
| 3.3.6 Fertilidade do solo .....                                | 37 |
| 3.3.7 Estado nutricional do plantio .....                      | 37 |
| 3.4 ANÁLISES DOS DADOS .....                                   | 38 |
| 3.4.1 Análise de variância .....                               | 38 |
| 3.4.2 Modelos de biomassa.....                                 | 40 |
| 3.4.3 Qualidade da madeira para energia .....                  | 41 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                 | 42 |
| 4.1 <i>Sclerolobim paniculatum</i> .....                       | 42 |
| 4.1.1 Taxa de mortalidade.....                                 | 42 |
| 4.1.2 Altura.....                                              | 43 |
| 4.1.3 Diâmetro (DAP) .....                                     | 45 |
| 4.1.4 Volume.....                                              | 47 |
| 4.1.4.1 Regressão para volume .....                            | 48 |
| 4.1.5 Produção e distribuição de biomassa.....                 | 49 |
| 4.1.5.1 Regressão para biomassa .....                          | 53 |
| 4.1.6 Fator de empilhamento .....                              | 55 |
| 4.1.7 Qualidade da madeira para produção de energia .....      | 56 |
| 4.1.7.1 Densidade .....                                        | 56 |
| 4.1.7.2 Teor de umidade .....                                  | 57 |
| 4.1.8 Modelos ajustados para biomassa acima do solo.....       | 58 |
| 4.2 <i>Eucalyptus urograndis</i> .....                         | 60 |
| 4.2.1 Taxa de mortalidade.....                                 | 60 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2 Altura.....                                                                        | 61 |
| 4.2.3 Diâmetro (DAP) .....                                                               | 62 |
| 4.2.4 Volume.....                                                                        | 63 |
| 4.2.4.1 Regressão para volume.....                                                       | 64 |
| 4.2.5 Produção e distribuição de biomassa.....                                           | 66 |
| 4.2.5.1 Regressão para biomassa .....                                                    | 69 |
| 4.2.6 Fator de empilhamento .....                                                        | 70 |
| 4.2.7 Análise da qualidade da madeira para produção de energia .....                     | 72 |
| 4.2.7.1 Densidade .....                                                                  | 72 |
| 4.2.7.2 Teor de umidade .....                                                            | 73 |
| 4.2.8 Modelos ajustados para biomassa acima do solo.....                                 | 74 |
| 4.3 POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA DE <i>S. paniculatum</i> e <i>E.urograndis</i> ..... | 76 |
| 5 CONCLUSÃO.....                                                                         | 77 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                       | 79 |

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração seletiva e desordenada de florestas nativas vem ocasionando um aumento significativo das áreas desflorestadas na região Amazônica, atingindo cerca de 4.571 km<sup>2</sup> na Amazônia legal no ano de 2012 (INPE, 2012).

Segundo Carvalho (2000), as plantações florestais para recuperação de áreas degradadas ou alteradas, que se tornam imprópria para agricultura, podem prestar-se para a silvicultura, sendo estas plantações de forma ecológicas e fins ambiental ou produtivos para fins totalmente comerciais para produção de biomassa em qualidade. Os plantios florestais são formações implantadas no contexto do processo de florestamento ou reflorestamento, Lima (2004), com utilização de espécies nativas ou introduzidas (exóticas).

Segundo Simões et al., (1983), as florestas implantadas representam potencial para a produção de biomassa capaz de gerar energia através da sua queima direta ou após a transformação de lenha em carvão, metanol ou etanol, entre outros, isso porque apresentam características próprias e específicas, capazes de aumentar a sua produtividade.

Com a crescente demanda por fontes renováveis de energia, estudo a respeito do potencial da geração de energia a partir da biomassa florestal tem sido realizado no Brasil e no mundo, relatando o potencial da biomassa, inclusive a madeira para, para geração de energia limpa. Entretanto, para aumentar a eficiência de conversão de madeira em energia é necessária a adoção de tecnologia mais apropriadas para a combustão, carbonização e geração de energia elétrica. Além disso, é de fundamental importância levar em consideração os custos de coleta e a logística do aproveitamento da biomassa florestal para avaliar o seu verdadeiro potencial para geração de calor e cogeração de energia e calor (MAGALHÃES, 2011).

Segundo Lima et al. (2000), os plantios de espécies florestais representam uma alternativa eficiente para áreas degradadas das regiões tropicais com precipitação elevada, como é o caso da região amazônica, pois contribuem no controle da erosão, na conservação da umidade do solo e na criação de microclima favorável para o desenvolvimento de outras culturas.

Entretanto o mesmo autor afirma que ainda são poucos os plantios florestais na Amazônia devido à carência de conhecimentos científicos sobre o comportamento das espécies nativas ou exóticas na região, como também a escolha das espécies mais adequadas para as



diferentes condições ecológicas da região. Deve-se investir especificamente na pesquisa agropecuária e florestal, para reverter o processo de degradação em curso (SOUZA et al., 2008).

Pelo Novo Código Florestal Brasileiro, instituído pela Lei 12.651, de 25/05/2012, é estabelecida a reposição obrigatória para todos os consumidores de produtos de origem florestal. Desta forma, as empresas siderúrgicas e outras à base de carvão vegetal, lenha ou outra matéria-prima vegetal são obrigadas a manter florestas próprias para exploração racional ou a formar, diretamente ou por intermédio de empreendimentos dos quais participem, florestas destinadas ao seu suprimento.

Para que o Brasil possa aumentar a participação da lenha e produtos da madeira na sua matriz energética, são necessárias melhorias no acesso a tecnologia florestal para pequenos, médios e grandes produtores tanto de silvicultura como de conversão de madeira em energia, aumentando o potencial de geração de energia de plantios futuros (MAGALHÃES, 2011).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento das espécies *Eucalyptus urograndis* e *Sclerolobium paniculatum*, sob diferentes espaçamentos e doses de adubação fosfatada para a produção energética no município de Itacoatiara-AM.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Identificar o efeito do espaçamento e níveis de adubação com fósforo no crescimento em altura, DAP, volume, biomassa e taxa de mortalidade;
- Avaliar potencial energético das espécies (densidade e poder calorífico);
- Determinar o *status* nutricional do plantio (fertilidade do solo, teores de macro e micronutrientes foliares);
- Ajustar modelos para estimar a biomassa das espécies.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES

#### 2.1.1 *Eucalyptus urograndis*

Pertence à família Myrtaceae. Há mais de 600 espécies do gênero *Eucalyptus* são originárias da Austrália. Ocorre em uma gama de condições ambientais que vão desde áreas pantanosas até muito secas, solos de baixada, de alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Além disso, ocupa ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto de temperaturas (PAULA, 2005).

No Brasil, a cultura do eucalipto foi introduzida inicialmente como árvore decorativa, mas em decorrência do seu rápido crescimento e adaptação, logo se tornou uma das espécies mais importantes do setor florestal. As espécies mais utilizadas são o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (*E. urograndis*) e outros. Por possuir ciclo curto é muito cultivado para reflorestamento. Adaptam-se melhor nas regiões entre Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, mas podem apresentar bom desenvolvimento em quase todas as regiões do país (TRUGILHO et al., 2005).

Os clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, surgem como uma grande promessa por apresentar rápido crescimento inicial, atribuído ao vigor híbrido. O *Eucalyptus urograndis* apresenta madeira com propriedades intermediárias entre o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus grandis* sendo indicado para usos gerais e muito utilizada em laminação, componentes estruturais para construção, movelaria, caixotaria, mourões, escoras, celulose e papel, chapas duras, painéis, lenha e carvão. Em função das múltiplas possibilidades de uso e adaptação em quase todo o território brasileiro, mais da metade dos plantios atualmente realizados utiliza material desse híbrido (SILVA, 2008).

#### 2.1.2 Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)

O *Sclerolobium paniculatum* é uma Leguminosae pertencente à família Caesalpiniaceae. No Brasil a espécie *Sclerolobium paniculatum* ocorre na região Amazônica até o oeste dos Estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, em cerrados e cerradões (LORENZI, 2002).

Carpanezzi et al. (1983) citam que o *Sclerolobium paniculatum* ocorre em pontos da Amazônia Brasileira, no Peru oriental e no Suriname, nas Guianas e na Venezuela, com boa adaptação a solos mais arenosos e pobres em nutrientes, sendo que, na Amazônia, o taxi-branco é uma espécie encontrada em áreas de terra firme.

O *Sclerolobium paniculatum* é uma árvore de porte médio que geralmente alcança posição de dossel superior das florestas secundárias, encontrando-se em média com 8 a 20 m de altura e 30 a 70 cm de DAP (diâmetro a altura do peito), podendo atingir até 30 m de altura e 100 cm de DAP, na idade adulta (LIMA, 2004).

O *Sclerolobium paniculatum*, por possuir madeira com características similares a do eucalipto, no que diz respeito ao poder calorífico e rendimento no processo de carbonização, apresenta vantagem na utilização dessa espécie na recuperação de áreas alteradas, pois, ao final do período de pousio, o agricultor poderá obter bons rendimentos econômicos com a venda de lenha ou carvão, além de ter recuperado a área para novos cultivos (MOCHIUTTI et al., 1999).

## 2.2 FERTILIDADE DO SOLO E AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA PLANTA

Diversos elementos químicos são indispensáveis à vida vegetal já que, sem eles a planta não consegue complementar seu ciclo de vida. Raij (1991) comentou em sua pesquisa que esse é um critério para caracterizar se um elemento é essencial ou não, o outro critério baseia-se no fato do elemento fazer parte de um componente ou metabólico essencial.

Segundo Malavolta et.al. (1997), os elementos considerados essenciais para plantas superiores menos Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), denominados macronutrientes, pois ocorrem em plantas em teores mais elevados do ponto de vista de nutrição vegetal, os micronutrientes aparecem em teores bem menores nas plantas são: Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Selênio (Se), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Silício (Si) e Cloro (Cl). Os macronutrientes primários - N, P, K; macronutrientes secundários - S, Ca, Mg e micronutrientes - Zn, B, Mn, Fe, Cu, Mo, Cl, são elementos essenciais, por terem origem no solo, são denominados nutrientes minerais e são eles que interessam em aspectos aplicados de nutrição de plantas.

A análise química do solo para Malavolta et al. (1997), certamente, é a principal ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo, os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional num dado momento, de modo que a análise dos tecidos aliada à análise do solo permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional, a análise de tecidos torna-se mais importante ainda, no caso do N e dos micronutrientes, para os quais a análise do solo não está bem consolidada.

Os estudos de Gama (2006) revelam que há um incremento significativo em altura quando as plantas de eucalipto são adubadas na época do plantio, em suas medições no 5º mês após o plantio constatou que as plantas sem adubação química tinham uma média de altura de 49,58 cm, enquanto que aquelas que receberam adubação chegaram a 110,49 cm no mesmo período.

Estudo feito por Oliveira et al. (2008), sobre a biomassa e característica da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação, nas condições do plantio, não influenciou a produção de biomassa seca a 0% de umidade, o comprimento e o diâmetro das fibras, o diâmetro dos lumens e a espessura da parede celular, o teor de material volátil e o poder calorífico superior do *Sclerolobium paniculatum*, em termos absolutos a relação biomassa de fuste / biomassa de galho aumenta da testemunha para os tratamentos com adubação. Em relação aos efeitos da adubação nas características anatômicas da espécie *Sclerolobium paniculatum*, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas a 5% de significância, ou seja, não houve influência da adubação nas características anatômicas dessa espécie.

### 2.3 ESPAÇAMENTO

Um dos principais elementos na tomada de decisão para a implantação de plantios florestais é a análise do espaçamento ótimo de plantio. Através de estudos de crescimento dos indivíduos em diferentes espaçamentos, em razão da densidade de árvores de um povoamento florestal influenciar a taxa de crescimento, qualidade da madeira, idade de corte e aspectos econômicos do investimento (MAGALHÃES, 2006).

De acordo com Neto et al., (2003), em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira, por árvore, é elevada em razão de seu

maior crescimento em diâmetro, enquanto que, em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos.

O crescimento em diâmetro é uma característica altamente dependente dos espaçamentos (COELHO et al., 1970). Sobre o crescimento em altura das árvores existe alguma controvérsia quanto aos reflexos do espaçamento. No plantio de *E. grandis* com a redução do espaçamento de 3m x 2m para 3m x 1m, Pereira et al., (2006) verificaram uma tendência de maior crescimento em altura, justificando o resultado em razão da competição por luz, o que estimularia o crescimento em altura das plantas. Patino-Valera (1986) também verificou que o crescimento em altura, para *E. saligna*, com os espaçamentos supracitados, foi maior no espaçamento mais adensado, aos 32 meses de idade.

Em estudos realizados no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, no Município de Manaus (AM), Souza et al., (2003), testando 25 espécies florestais nativas e exóticas em plantios puros, em espaçamento 3m x 2m, em latossolo amarelo com baixos pH e CTC, constataram que o *Sclerolobium paniculatum* destacou-se entre as espécies de melhor desempenho, atingindo valores médios de DAP de 8,2 cm, altura de 12,1 m e volume de 84,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, valores estes comparáveis aos obtidos pelas espécies de melhor desempenho no experimento, como clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e pelo paricá (*Schizolobium amazonicum*), que foi a espécie nativa que apresentou o maior crescimento, aos quatro anos.

Castro et al., (1998) verificou que o espaçamento 3m x 1m mostrou-se ser o mais indicado silviculturamente, visando a produção de matéria prima para a produção de carvão vegetal com o Taxi-Branco.

Segundo Assis et al., (2012), o clone GG100 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) plantado em Bom Sucesso, no espaçamento 3m x 2,8m aos 48 meses de idade (tratamento 2) destacou-se para ser utilizado na produção de biocombustível, pois apresentou estatisticamente o maior valor médio de rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

A adubação, nas condições do plantio com espaçamento de 3m x 2m, segundo Oliveira et al. (2008), não influenciou a produção de biomassa seca a 0% de umidade; o comprimento e o diâmetro das fibras, o diâmetro dos lumens e a espessura da parede celular; o teor de material volátil e o poder calorífico superior do *Sclerolobium paniculatum*.

## 2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA

A maioria das espécies florestais é considerada pouco exigente em fósforo quando comparada com culturas anuais. Esse fato tem sido atribuído ao extenso sistema radicular das árvores, que exploram grandes volumes de solo, e à possível habilidade dessas plantas em utilizarem formas menos solúveis de fósforo. Contudo em solos tropicais o nível de fósforo é tão baixo que a planta é incapaz de manter uma taxa elevada de crescimento ao longo da rotação, se o nutriente não for aplicado ao solo (BARROS; NOVAIS, 1990).

O fósforo, em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, sendo essencial para a boa formação de frutos e sementes, vindo a incrementar a precocidade na produção (RAIJ, 1991).

Dos três macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio), o fósforo é o que, por seu comportamento no solo, requer maiores cuidados na sua aplicação para que a resposta da planta seja alta, devido à existência de competição entre o solo (adsorção e precipitação) e a planta (absorção) pelo fósforo (BARROS; NOVAIS, 1990).

A disponibilidade máxima de fósforo acontece quando o pH está ao redor de 6,5, sendo que, valores mais baixos favorecem a formação de fosfatos de Fe e de Al de baixa disponibilidade. A elevação do pH, por sua vez, conduz a precipitação do P (em solução) como fosfatos de cálcio de menor disponibilidade (MALAVOLTA, 1981).

Lima (2004), estudando a influência dos fatores de sítio no crescimento do *Sclerolobium paniculatum*, concluiu que o maior crescimento em altura da espécie está relacionado com o aumento dos teores de fósforo e sódio, sendo que, menores valores da relação ferro/fósforo estão associados com os sítios que apresentam maior crescimento em altura.

Outro estudo realizado no estado de Roraima, envolvendo *E. urograndis*, feito por Arco-Verde e Schwengber (2003), chegou aos resultados mostrados na Tabela 1. Neste plantio foi feita a aplicação de 60 g de superfosfato triplo em cada cova da muda plantada.

Tabela 1 - Desenvolvimento do *E. urograndis* aos 2,5 anos de idade (espaçamento 3m x 2m) em Confiança, Boa Vista - RR.

| Espécie                           | H (m) | DAP (cm) | V (m³/ha) | IMA (m³/ha/ano) |
|-----------------------------------|-------|----------|-----------|-----------------|
| <i>Eucalyptus urograndis</i> 0321 | 14,76 | 9,36     | 118,21    | 39,4            |
| <i>Eucalyptus urograndis</i> 103  | 12,23 | 9,48     | 96,3      | 32,1            |
| <i>Eucalyptus urograndis</i> 1270 | 20,7  | 12,54    | 292,27    | 97,42           |
| <i>Eucalyptus urograndis</i> 1232 | 17,92 | 10,87    | 183,5     | 61,17           |
| <i>Eucalyptus urograndis</i> 1341 | 10,88 | 7,58     | 65,03     | 18,34           |

Souza et al., (2008) ao aplicar 60 g de superfosfato triplo e adotar o espaçamento 3m x 3m entre plantas, no Município de Manaus, em solo do tipo Latossolo Amarelo textura argilosa, com baixo pH e CTC, obteve Incremento médio anual em DAP no valor de 2,0 cm.ano<sup>-1</sup> para a espécie *Sclerolobium paniculatum*.

## 2.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA

De acordo com Brito e Barrichelo (1979), no composto químico, poder calorífico, teor de umidade, densidade e teor de cinza são aspectos necessário que deve ser considerado quando se relaciona as propriedades físicas e químicas com as propriedades combustíveis.

### 2.5.1 Poder calorífico

O poder calorífico expressa a capacidade de geração de energia de um combustível durante a sua combustão. Sua unidade de medida é quilocaloria (Kcal) por quilo (Kg) ou calorias (cal) por grama (g) de combustível. O poder calorífico da madeira consiste na quantidade de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível. Sua determinação pode ser teórica pelo conhecimento da composição química do combustível ou experimental com o auxílio da bomba calorimétrica. O poder calorífico superior (PCS) é aquele obtido na bomba calorimétrica a partir do combustível seco. O poder calorífico inferior (PCI) é aquele calculado a partir do PCS considerando o teor de umidade a que se encontra o combustível (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Segundo Brito e Barrichelo (1979), a mais importante propriedade combustível é o poder calorífico onde ele é obtido quando é queimado um combustível, na madeira podem-se encontrar valores desde 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg. E as espécies que tem grande quantidade de resina que são as coníferas tem maior poder calorífico em comparação com as folhosas. A composição química é a responsável por essa variação, estando relacionada diretamente aos teores de lignina, cinzas e extrativos (TRUGILHO, 2012).

### **2.5.2 Teor de Umidade**

A quantidade máxima de água que a madeira pode ter para entrar em combustão tem sido calculada em aproximadamente 65% na base úmida (o resto corresponde ao material sólido). O teor de umidade é outra característica importante por duas razões. A primeira é que ele varia dentro das espécies, clima, armazenamento, etc., que torna a combustão mais difícil. A segunda é que a água tem um poder calorífico negativa, por que necessita de calor externo para evaporá-la e entrar em combustão. A madeira verde apresenta teor de umidade variando entre 45 e 50%, madeira seca ao ar por 6 meses ou 1ano varia entre 15 e 25% (BRITO; BARRICHELO, 1979).

### **2.5.3 Densidade**

A densidade básica é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira, sendo uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alburno e arranjo dos elementos anatômicos. Segundo Atayde (2000), a densidade básica da madeira constitui-se uma das mais importantes características para identificar espécies produtoras de lenha e carvão de boa qualidade.

### **2.5.4 Teor de cinza**

Os teores de cinza referem-se aos constituintes inorgânicos da madeira e o seu conhecimento é muito importante, pois após a queima, as cinzas comportam-se como a porção residual da madeira e exigem um sistema próprio para sua retirada, e por serem um material abrasivo pode causar corrosão em equipamentos metálicos, altos teores de cinza também são indesejados, pois reduzem significativamente as qualidades físicas e químicas do carvão vegetal e em algumas espécies é sempre abundante na casca (BRITO; BARRICHELO, 1979).



A madeira de *Sclerolobium paniculatum* e de boa qualidade para produção de lenha e carvão, por apresentar alto poder calorífico, possuindo características comparáveis as madeiras tradicionais utilizadas no sul do Brasil (TOMASELLI et al., 1983).

De acordo com Vale et al. (2000), o poder calorífico superior médio foi de 4.619 kcal/kg e 4.641 kcal/kg; a massa seca de 20 kg/árvore e 48 kg/árvore e a quantidade de energia disponibilizada, na forma de calor, de 91.285 kcal/árvore e 222.085 kcal/árvore, respectivamente, para *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. Quando comparada com *A. mangium*, o *E. grandis* é a espécie que produziu mais energia, tendo em vista sua maior produção de matéria seca.

A eucalipnicultura vem sendo utilizada como fonte de insumo energético na produção de carvão vegetal para abastecer a indústria siderúrgica e insumo para a geração de energia elétrica (MULLER, 2005). As espécies do gênero *Eucalyptus*, de acordo com Carvalho (2000), apresentam poder calorífico por volta de 4.400 kcal/kg, o que a torna adequada para a produção de energia.

Estudos sobre o potencial de espécies florestais desenvolvidos na EMBRAPA/Roraima por Tonini et al. (2006) concluíram que, dentre as 19 espécies estudadas, *E. urograndis* foi a espécie que demonstrou ser a melhor escolha quando o objetivo é a geração de energia.

Barcellos (2007) encontrou valor médio de 7.454 kcal kg<sup>-1</sup> para o poder calorífico superior do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade. Neves et al. (2011) obtiveram valor médio de 7.654 kcal kg<sup>-1</sup> para clones de eucalipto em diferentes locais de cultivo e idades.

Segundo Oliveira et al., (2008), a madeira de *Sclerolobium paniculatum*, com 18 anos de idade e cultivado em plantio homogêneo apresentou densidade básica média de 0,52 g/cm<sup>3</sup> e o poder calorífico superior (PCS) variou de 4.616 kcal/kg a 4.731 kcal/kg, apresentando uma média de 4.671kca/kg, inferior à média encontrada por Vale (2000) para *Sclerolobium paniculatum* nativo, que foi de 4.849 kcal/kg e uma provável explicação para essa superioridade é a maior idade.

Foi observado que maiores valores de poder calorífico superior de acordo com Assis et al. (2012), estão relacionados positivamente com o teor de carbono e negativamente com os teores de oxigênio, hidrogênio e nitrogênio e com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal de clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

## 2.6 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal, conforme definição apresentada por Alemdag (1980) é a quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa. Martinelli et al. (1994) e Teixeira (2003) definem biomassa como a quantidade de material vegetal contida por unidade de área numa floresta e expressa em unidade de massa. Em geral, os componentes utilizados na medição da biomassa são biomassa vertical acima do solo, composição das árvores e arbustos, composição da serapilheira e troncos caídos (fitomassa morta acima do solo) e composição de raízes (biomassa abaixo do solo). A biomassa média por hectare varia entre os tipos florestais e dentro de um mesmo tipo de floresta (URBANO, 2007).

### 2.6.1 Alometria

Define-se alometria como o estudo das proporções dos organismos em relação ao seu tamanho. Em outras palavras, é a mudança na proporção de várias partes de um organismo como consequência do crescimento (WEBER, 2007). A base desse método é o estabelecimento de parâmetros que indiquem ou expressem, em forma alométrica, o estado atual de uma planta. Para isso alguns autores propõem um número variado de equações baseado em medidas diretas como altura, diâmetro, comprimento e número de estruturas (perfilhos, ramificações, entre outros) que possam estimar, com suficiente precisão, a massa ou o desenvolvimento da planta como um todo (VEGA et al., 2004).

Contudo, deve ser ressaltado que para o estabelecimento dessas relações há necessidade de se efetuar análises destrutivas. No entanto, essas são feitas em amostragem, de preferência em algumas plantas do próprio experimento, ou pelo menos em plantas da mesma origem genética, em estádios ontogenéticos semelhantes, e cultivadas nas mesmas condições agrobioclimáticas (VEGA et al., 2004).

Relações alométricas são empiricamente determinadas estabelecendo a forma e a significância da relação funcional entre duas ou mais variáveis biológicas. O método mais comum de descrição das relações alométricas tem sido a análise de regressão, a qual estima a relação funcional entre Y (variável dependente) e X (variável independente), estabelecendo uma média esperada para os valores de Y em função de um valor específico de X.

### 2.6.2 Estimativas da biomassa

Uma das maneiras de se estimar a biomassa e o carbono florestal é usando modelos matemáticos. Conforme Sanquetta (1996), um modelo é a representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais, como por exemplo: equações matemáticas de processos fisiológicos, figuras ou estátuas.

Para a determinação do peso de carbono em florestas, primeiramente se faz necessário quantificar a biomassa. Segundo Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os métodos para a obtenção da biomassa podem tanto ser diretos como indiretos. Métodos diretos implicam em determinações, enquanto que métodos indiretos geram estimativas.

Segundo Oliveira et al., (2008), os diferentes níveis de adubação não influenciaram a produção de biomassa por área, a 5% de significância, apresentando uma grande variação entre o valor mínimo individual e o máximo com valores de coeficientes de variação variando de 77% a 122%. Esse comportamento na produção de biomassa a 0% de umidade foi encontrado por Vale (2000) ao determinar a biomassa lenhosa aérea seca total de *Sclerolobium paniculatum* nativo de um cerrado *sensu strictu*, com idades diferentes, cujos valores individuais variaram de 3,26kg/árvore a 213,38kg/árvore, com um coeficiente de variação de 71,58%. Em termos absolutos a relação biomassa de fuste / biomassa de galho aumenta da testemunha para os tratamentos com adubação.

De acordo com Castro et al., (1998), estudando o efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*), concluiu que a produção da biomassa foi significativamente influenciada pela densidade do plantio, sendo as maiores produção de biomassa obtida nos menores espaçamentos. O espaçamento 3 x 1m mostrou-se o mais indicado silviculturalmente para as condições do cerrado amapaense, visando a produção de matéria prima para a produção de carvão vegetal, visto que apresentou a produção de biomassa estatisticamente igual as menores densidades de plantio.

Cunha (2007), estudando a determinação do estoque de carbono acima do solo da espécie *Eucalyptus var. urophylla x grandis* na Amazônia Ocidental, foi observado que há uma alta correlação entre a biomassa verde total e a área transversal, onde o  $R^2 = 0.8861$ , da biomassa seca na parcela que foi de 123,01 t/ha e a determinação do estoque de carbono adquirido por essa parcela é de 50% do valor total da biomassa seca onde é 61,50 t/ha.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município de Itacoatiara - AM, km 201 da rodovia estadual AM-010, entre as coordenadas 2° 56'20'' S e 58° 55'42'' W (FIGURA 1). Denominado Fazenda Nova Esperança II, de propriedade da empresa Amaggi Exportação e Importação LTDA.

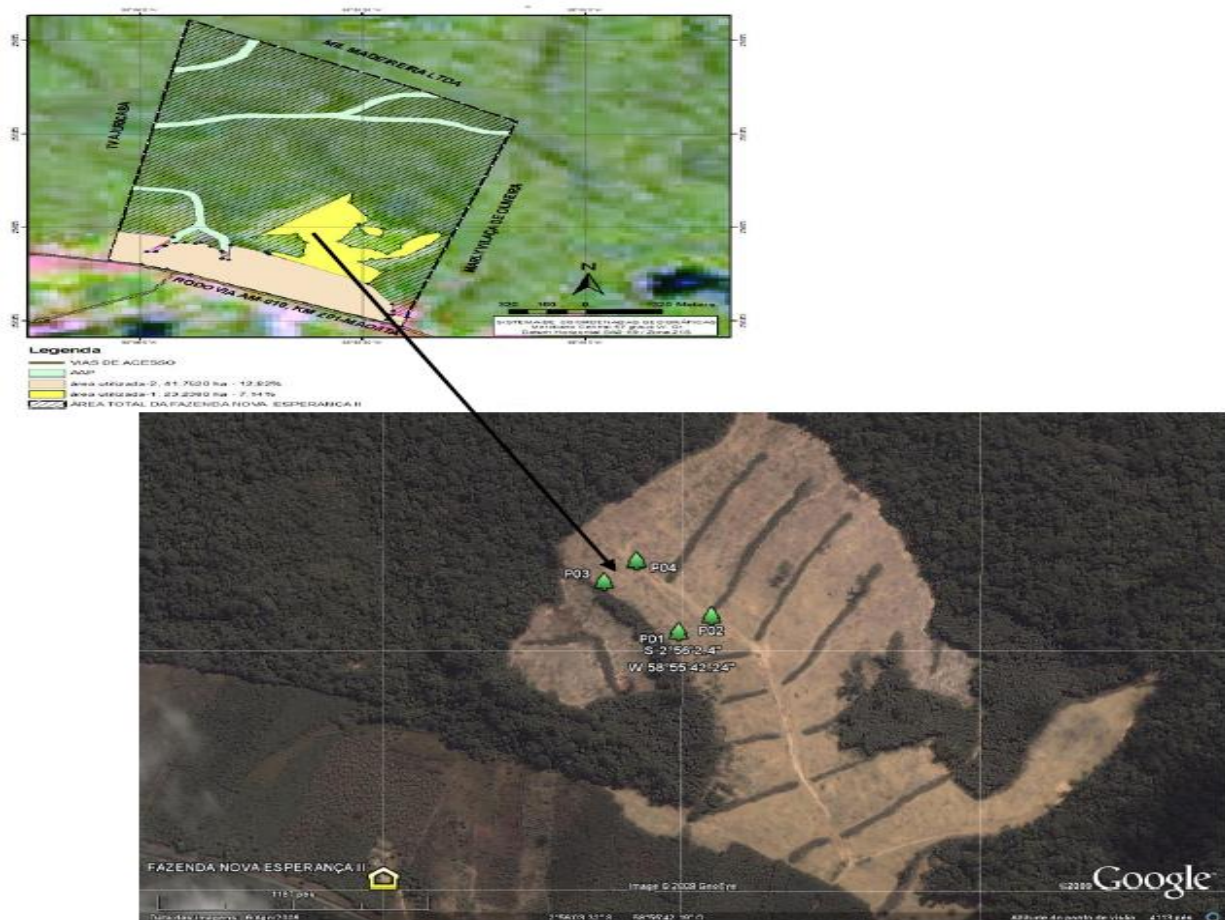


Figura 1- Mapa de localização da Fazenda Nova Esperança II e dos plantios de *E. urograndi* e *S. paniculatum*, Itacoatiara - AM. Fonte: LIMA (2009).

O clima da região é do tipo Am, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26,7°C, variando entre 27,9°C (setembro) a 25,8°C (fevereiro) e a umidade relativa do ar é em média 80%. O regime pluviométrico define duas estações; sendo uma seca e outra chuvosa. A precipitação média anual é de 2.186 mm (SALATI et al., 1991).

O solo da região está classificado no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos de textura média argilosa (RADAMBRASIL, 1978). O solo predominante na propriedade é o Distrófico, principalmente solos do tipo Oxissolos (Latossolo Amarelo/Argiloso), que apresenta potencialidade química natural reduzida, evidenciada pela baixa soma de bases trocáveis, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e elevada saturação de alumínio em cerca de 70% e baixos teores de cálcio (Ca)+ magnésio (Mg).

A vegetação da área de reserva legal da propriedade pode ser classificada como Floresta Tropical Densa (FTD), que se caracteriza pela alta correlação dos fatores climáticos que são extremamente favoráveis (luminosidade, água e calor) ao desenvolvimento das atividades biológicas (RADAMBRASIL, 1978).

### 3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

#### 3.2.1 Área experimental

Foram implantados no total 45 parcelas, conforme a disposição na Figura 2, com área de cada parcela variando conforme o espaçamento adotado: 2m x 2m (112m<sup>2</sup>), 3m x 2m (168m<sup>2</sup>), 4m x 2m (224m<sup>2</sup>). O experimento ocupou uma área total de 0,9 hectare.

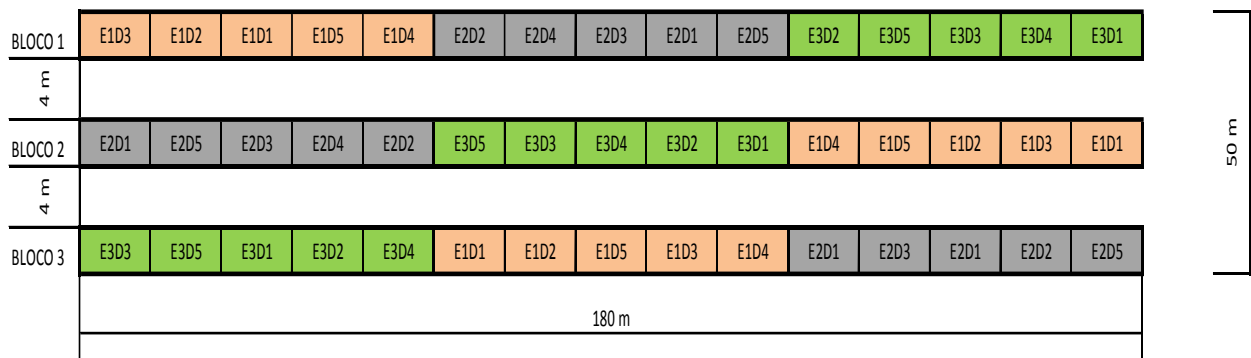


Figura 2 - Croqui do plantio experimental, de acordo com o espaçamento adotado E1 = 2m x 2m, E2 = 3m x 2m e E3 = 4m x 2m, com área total de 0,9 ha.

#### 3.2.2 Delineamento experimental

Cada parcela foi composta no total de 28 plantas, com bordadura simples de 18 plantas e 10 plantas úteis/parcela (FIGURA 3), o delineamento utilizado foi em parcelas subdivididas em três blocos. O fator E (espaçamento) é constituído de três níveis (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>), sorteados sobre as

parcelas principais de acordo com um delineamento em blocos casualizados com 3 repetições, e o fator D (dosagem de fósforo) é constituído de cinco níveis ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  e  $D_5$ ), sorteados nas subparcelas, conforme a disposição no campo (QUADRO 1). Cada bloco possui três parcelas principais onde foi casualizado os três níveis do fator E e cada parcela principal (PP) tem 5 subparcelas (SP) onde foi casualizado os cinco níveis do fator D. Entre os blocos foi mantido um espaçamento de 4 m. O espaçamento adotado:  $E_1 = 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ,  $E_2 = 3\text{ m} \times 2\text{ m}$ ,  $E_3 = 4\text{ m} \times 2\text{ m}$ . D = Dosagem de fósforo ( $D_1 = 0\text{ g}$ ,  $D_2 = 30\text{ g}$ ,  $D_3 = 60\text{ g}$ ,  $D_4 = 90\text{ g}$ ,  $D_5 = 120\text{ g}$ ), com 15 tratamentos.

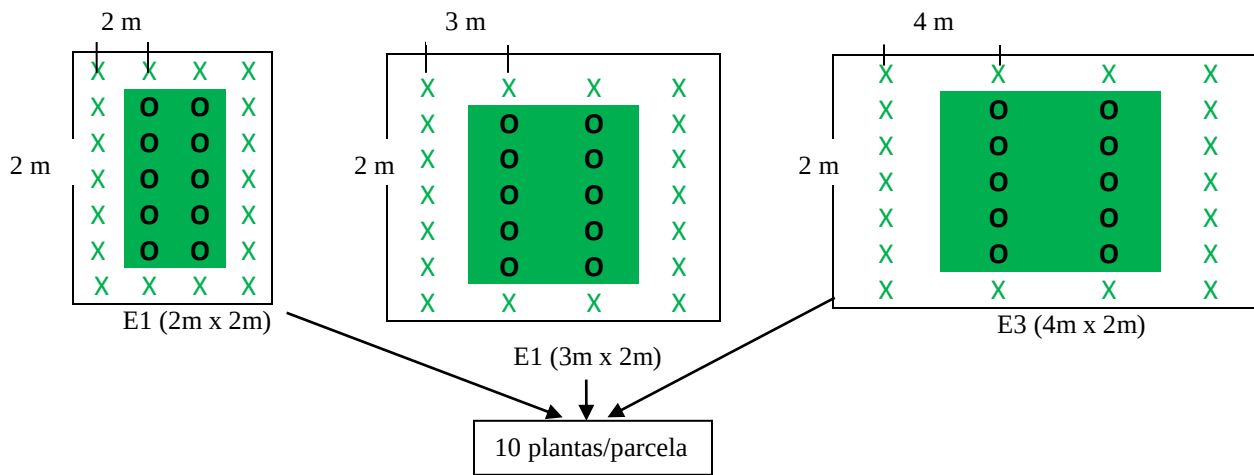


Figura 3 - Plantas úteis por parcela alocadas conforme os espaçamentos, com bordadura de 18 plantas e 10 plantas úteis, totalizando 28 plantas por parcela.

|         |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| BLOCO 1 | 1              | 2              | 3              | 3              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             | 13             | 14             | 15             |
|         | D <sub>3</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>1</sub> |
|         | E <sub>1</sub> |                |                |                |                | E <sub>2</sub> |                |                |                |                | E <sub>3</sub> |                |                |                |                |
| BLOCO 2 | 16             | 17             | 18             | 19             | 20             | 21             | 22             | 23             | 24             | 25             | 26             | 27             | 28             | 29             | 30             |
|         | D <sub>1</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>1</sub> |
|         | E <sub>2</sub> |                |                |                |                | E <sub>3</sub> |                |                |                |                | E <sub>1</sub> |                |                |                |                |
| BLOCO 3 | 31             | 32             | 33             | 34             | 35             | 36             | 37             | 38             | 39             | 40             | 41             | 42             | 43             | 44             | 45             |
|         | D <sub>3</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>5</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>5</sub> |
|         | E <sub>3</sub> |                |                |                |                | E <sub>1</sub> |                |                |                |                | E <sub>2</sub> |                |                |                |                |
| SP      |                |                |                |                |                | PP             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |

Figura 4 - Esquema do experimento com parcelas subdivididas, no delineamento em bloco ao acaso, com destaque para a parcela principal (PP) e a subparcela (SP).

### **3.2.3 Preparo da área**

Para o preparo do solo da área do experimento, fez-se limpeza com auxílio do trator esteira, seguida de catação manual de raízes, passando por duas gradagens pesadas com profundidade média de 15 cm, na qual foram coletadas amostras de solo para a realização de análise química, sendo que, a área recebeu aplicação de calcário dolomítico na proporção de 4 toneladas/ha.

### **3.2.4 Espaçamento**

O plantio experimental foi composto de três espaçamentos: E1- 2m x 2m; E2- 3m x 2m; E3- 4m x 2m.

### **3.2.5 Plantio**

As covas para o plantio foram abertas manualmente, com profundidade de 20 cm x 10 cm de diâmetro. Realizou-se o plantio na época menos favorável (menor precipitação), e as mudas foram regadas. O plantio considerou-se instalado aos 45 dias, finalizando o replantio. As mudas receberam aplicação de fungicida (Agrinose) antes do transporte para o campo.

### **3.2.6 Adubação**

Adubou-se o plantio com superfosfato triplo, as quantidades foram aplicadas a lanço após 21 dias de plantio em cinco tratamentos diferentes, na forma de superfosfato triplo ( $P_2O_5$ ) com 45 % de P nas quantidades de D1- 0 Kg/ha , D2- 30 Kg/ha, D3- 60 Kg/ha , D4- 90 Kg/ha , D5- 120 kg/ha de  $P_2O_5$ .

### **3.2.7 Tratos culturais**

Os tratos culturais realizados foram capinas manuais e limpezas com roçadeiras costais.

## **3.3 COLETA DE DADOS**

### **3.3.1 Mortalidade**

Foi obtido pela seguinte fórmula;

$$M = \frac{M_t}{N_o} \bullet 100$$

Onde:

M = Mortalidade em porcentagem;

$M_t$  = Número de árvores que morreram na parcela;

$N_o$  = Número de árvores úteis por parcela.

### 3.3.2 Volume

Foram abatidas 360 árvores, sendo 180 de cada espécie, quatro árvores por parcela das 10 árvores úteis, para a obtenção do volume pelo método de Smalian (FIGURA 4), o diâmetro da ponta mais fina foi de 3 cm (SCOLFORO; FILHO, 1998).

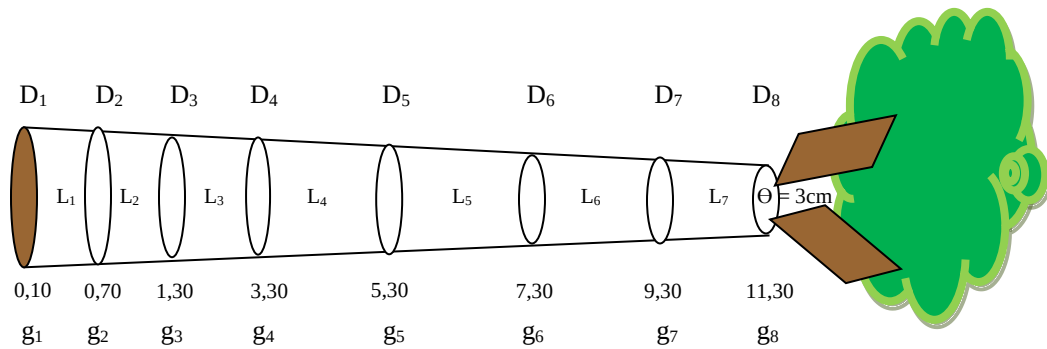


Figura 5 - Esquema de coleta de dados de árvores abatidas para calcular o volume real (procedimento de Smalian). Itacoatiara - AM, 2014.

$$v = \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) \cdot L$$

Onde:

v = Volume da seção considerada;

$g_i$  = Área seccional do extremo da seção;

$g_{i+1}$  = Área seccional do outro extremo da seção;

L = Comprimento da seção.



### 3.3.3 Biomassa

Após a cubagem, as 180 árvores de *S. paniculatum* e de *E. urograndis* foram compartimentada (Figura 6A) em troncos (Figura 6B), galhos (Figura 6C) e folhas (Figura 6D) e depois pesadas para a determinação do peso fresco total. Dos compartimentos folhas e galhos retirou-se amostras de 400 g, do fuste as amostras foram compostas por discos seccionados a 0% (base), 50% (meio do fuste) e 100% de altura (ápice) (Figura 7). As amostras foram secas em estufa com temperatura entre 100 - 105°C, por um período mínimo de 72 horas, até atingir peso constante. Calculou-se o teor de água e a biomassa seca por meio das seguintes fórmulas:

a) Teor de água

$$Ta = (Mu - Ms / Mu) \times 100$$

Onde:

Ta = Teor de água;  
Um = Massa úmida;  
Ms = Massa seca.

b) Biomassa seca

$$Bs = Bf \times [(100 - Ta) / 100]$$

Onde:

Bs = Biomassa seca em quilos;  
Bf = Biomassa fresca em quilos;  
Ta = Teor de água em porcentagem.



Figura 6 - Separação da biomassa por compartimento da árvore (Figura 6A), pesagem do fuste (Figura 6B), galho (Figura 6C) e folha (Figura 6D). Itacoatiara - AM, 2014.



Figura 7 - Amostra de folha, galho e disco de cada compartimento para a determinação do teor de água da madeira. Itacoatiara - AM, 2014.

### 3.3.4 Fator de conversão

As 10 árvores úteis de cada parcela foram derrubadas e empilhadas (FIGURA 8), para a obtenção do volume de madeira empilhada, cuja unidade é o metro cúbico estéreo (mst) e cubadas pelo método de Smalian para se obter o volume real da pilha. O Fator de empilhamento (Fe) usado na conversão de volume de madeira empilhada em volume de madeira sólido foi obtido pela razão entre o volume sólido e o volume empilhado. Conforme as equações a seguir:

$$a) Fe = \frac{Vol.solido}{Vol.emp}$$

Onde:

Fe = Fator de empilhamento st/ha;

Vol.emp = Volume empilhado st;

Vol.solido = Volume sólido m<sup>3</sup>.



$$b) V_{emp} = H \cdot L_1 \cdot L_2$$

Onde:

$V_{emp}$  = Volume de madeira empilhada

$H$  = Altura da pilha de madeira

$L_1$  = Largura da pilha de madeira

$L_2$  = Comprimento da pilha de madeira



Figura 8 - Mensuração da pilha de madeira para o cálculo do fator de empilhamento. Itacoatiara - AM, 2014.

### 3.3.5 Caracterização da madeira para produção de energia

#### a) Densidade básica

A metodologia utilizada para estimar a densidade da madeira foi através do Densímetro Digital DSL 910, utilizando o medidor de densidade de líquidos como referência. Foram retiradas amostras de discos na base, meio e ápice do fuste, em seguida as amostras foram postas na estufa de ventilação forçada a 105°C até obterem massa seca constante, onde as amostras de discos

foram reduzidas a tamanho menores com dimensão de 2cm x 2cm x 2cm para que encaixe no cesto convexo do densímetro, em seguida mediu-se o peso seco (Figura 9A) e o peso molhado (Figura 9B).



Figura 9 - Determinação da densidade básica através do densímetro digital pela mensuração do peso seco (Figura 9A) e peso molhado da amostra (Figura 9B), utilizando líquido como referência.

#### b) Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade, foi seguida a metodologia de Jankowsky (1985), as amostras com dimensão de 2cm x 2cm x 2cm retiradas dos discos, foram inicialmente pesadas para a obtenção da massa inicial úmida ( $P_u$ ), e em seguida colocadas em estufa a 103°C, até atingirem peso constante, quando foram novamente pesadas ( $P_o$ ). Calculou-se o teor de umidade por meio da seguinte equação:

$$Tu = \left( \frac{P_u - P_o}{P_o} \right) * 100$$

Onde:

$P_u$  = Massa inicial da peça de madeira (g);

$P_o$  = Massa final da peça de madeira (g);

Tu = Teor de umidade (%)

### c) Poder calorífico

Para a quantificação do poder calorífico superior (PCS) utilizou-se uma bomba calorimétrica digital, sendo os ensaios padronizados de acordo com a norma ABNT NBR 8636 (Associação Brasileira de Normas técnicas, 1984). Retirou-se as amostras dos discos, e apartir da secagem em estufa e redução do material a grãos menores de 1g (Figura 10A) fez-se a análise com o seguinte procedimento, primeiramente enche-se a bomba com oxigênio (Figura B), sendo em seguida colocada em uma célula no interior do calorímetro (Figura 10C), a célula é envolvida em água, cuja variação de temperatura é usada para avaliar a quantidade de energia liberada, e finalmente a amostra juntamente com a bomba é posto em um resfriador (Figura 10D).



Figura 10 - Análise do poder calorífico através da bomba calorimétrica, utilizando grãos de madeiras secas (Figura 10A) pelo enchimento da bomba (Figura 10B), leitura no calorímetro (Figura 10C) e esfriamento da bomba (Figura 10D).



### 3.3.6 Fertilidade do solo

Com auxílio de um trado de “rosca”, coletou-se três amostras simples, formando uma amostra composta por parcela (Figura 11A), nas profundidades de 0-20 cm a 20-40 cm (Figura 11B). Seguindo a recomendação de Silva (2009). Realizou-se as seguintes análises químicas: PH, Al, carbono orgânico (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e os micronutrientes Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) (EMBRAPA, 1997). Na análise física determinou-se a composição granulométrica (argila, silte e areia total) (EMBRAPA, 1997).



Figura 11 - Coleta de uma amostra composta de solo em cada parcela (Figura 11A), na profundidade de 0 - 20 e 20 - 40 cm (Figura 11B) para análise química e física. Itacoatiara - AM, 2014.

### 3.3.7 Estado nutricional do plantio

Coletou-se folhas em quatro árvores por parcela (Figura 12A), formando uma amostra em cada árvore com 400g (Figura 12B), conforme o critério: folhas maduras completamente expandidas, expostas ao sol e em bom estado fitossanitário, dos lançamentos mais novos, no meio da copa, e acondicionadas em saco de papel e secas em estufa a uma temperatura de aproximadamente 65° C, por um período de 72 horas (CARMO et al., 1990). As folhas foram moídas e armazenadas em frascos de polietileno e submetida à digestão sulfúrica (SILVA, 2009). No extrato determinou-se os teores de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S e os micros Cu, Fe, Zn, Mn e B (EMBRAPA, 1997).



Figura 12 - Coleta de amostra de folha em cada parcela para análise nutricional do plantio. Itacoatiara - AM, 2014.

### 3.4 ANÁLISES DOS DADOS

#### 3.4.1 Análise de variância

Na Tabela 2, apresentamos o esquema da análise de variância do experimento em parcelas subdivididas com “E” tratamentos primários, “D” tratamentos secundários, “R” repetições (blocos) para os tratamentos aplicados às parcelas.

Tabela 2 - Análise da variância para experimento com parcelas subdivididas, em blocos ao acaso.

| Fonte de Variação     | GL           | SQ       | QM       | F               |
|-----------------------|--------------|----------|----------|-----------------|
| Blocos                | (R-1)        | SQBlocos | QMBlocos | QMBlocos/QMR(a) |
| Espaçamento (E)       | (E-1)        | SQE      | QME      | QME/QMR(a)      |
| Resíduo (a)           | (E-1) (R-1)  | SQR(a)   | QMR(a)   |                 |
| (Parcelas)            | (ER-1)       | SQP      |          |                 |
| Dosagem (D)           | (D-1)        | SQD      | QMD      | QMD/QMR(b)      |
| Espaçamento x Dosagem | (E-1) (D-1)  | SQI(ExD) | QM (ExD) | QM (ExD)/QMR(b) |
| Resíduo (b)           | E(R-1) (D-1) | SQR(b)   | QMR(b)   |                 |
| Total                 | EDR-1        | SQTotal  |          |                 |



a) Modelo matemático

Considerando o experimento em parcelas subdivididas envolvendo “E” tratamentos primários arranjados em “R” blocos casualizados e “D” tratamentos secundários, o modelo foi descrito como:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + S_{ik} + R_k + (SR)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \text{ com } K = 1, \dots, R; i = 1, \dots, E; j = 1, \dots, D.$$

Onde:

$\mu$  = a média geral;  $\alpha_i$  = o efeito do i - ésimo nível de E

$\beta_j$  = o efeito do j - ésimo nível de D; e  $(\alpha\beta)_{ij}$  o efeito conjunto de i - ésimo nível de E e j - ésimo nível de D;

$R_k$  = o efeito do k - ésimo bloco;

$(SR)_{ik}$  = o efeito conjunto de i - ésimo nível de E e o k - ésimo bloco e  $(SR)_{ik} \sim N(0, \sigma^2_{SR})$ ;

$\varepsilon_{ijk}$  = efeito do erro aleatório  $\sim N(0, \sigma^2)$

b) Hipóteses a serem testadas no experimento

- A hipótese de que não existe ou existe interação do Espaçamento x Dosagem (E x D) é equivalente às hipóteses:

$$H_{0\text{ ED}} : (E_i \times D_j) = 0, i = 1, 2, 3 \text{ e } j = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ (nulidade)}$$

$$H_{1\text{ ED}} : (E_i \times D_j) \neq 0, i = 1, 2, 3 \text{ e } j = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ (alternativa)}$$

- As hipóteses de que não existe ou existe efeito principal do fator E é:

$$H_{0\text{ E}} : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \text{ (nulidade)}$$

$$H_{1\text{ E}} : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ (alternativa)}$$

- As hipóteses de que não existe ou existe efeito principal do fator D é:

$$H_{0\text{ D}} : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \text{ (nulidade)}$$

$$H_{1\text{ D}} : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \text{ (alternativa)}$$

### 3.4.2 Modelos de biomassa

Foram ajustadas as seguintes equações alométricas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Equações alométricas para ajuste de biomassa acima do solo.

| Nº | EQUAÇÃO                                | AUTOR               |
|----|----------------------------------------|---------------------|
| 1  | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2$           | Kopecky - Gehrhardt |
| 2  | $Ps = \beta_1 d + \beta_2 d^2$         | Dissescu - Meyer    |
| 3  | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1}$             | Berkhout            |
| 4  | $LnPs = \beta_0 + \beta_1 Ln d$        | Husch               |
| 5  | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$         | Spurr               |
| 6  | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ | Schumacher e Hall   |
| 7  | $LnPs = \beta_0 + \beta_1 Ln (d^2 h)$  | Spurr (logarítmica) |
| 8  | $Ps = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$       | Ugaya               |

Onde:

d (cm) = Diâmetro a 1,30 m de altura do solo;

h (m) = Altura comercial;

Ps (kg) = Biomassa seca;

Ln = Logaritmo neperiano;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = Coeficientes de regressão.

Na seleção dos melhores modelos para estimativa da biomassa, adotaram-se os seguintes critérios, segundo Soares et al. (2005) e Oliveira et al. (2005):

- a) Análise das medidas de precisão;
  - Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ );
  - Erro-padrão da estimativa em porcentagem (Syx%);
- b) Análise da significância dos coeficientes das equações;
- c) Distribuição gráfica dos resíduos.

### 3.4.3 Qualidade da madeira para energia

A Tabela 4 apresenta os valores de referência para densidade e poder calorífico para que a madeira seja propícia para a produção de energia.

Tabela 4 - Valores de referência para avaliar a qualidade da madeira para energia.

| Variável         | Valor de referência (VR)           |
|------------------|------------------------------------|
| Densidade        | $\mu \geq 0,65 \text{ g/cm}^3$ **  |
| Poder Calorífico | $\mu \geq 4.200 \text{ kcal/kg}^*$ |
| Teor de Cinza    | $\mu \leq 1\%^*$                   |

\* Brito e Barrichelo (1979); \*\*Vale et al. (2002).

Na análise estatística, foi aplicado o teste T de student ao nível de 95% de probabilidade através da seguinte expressão:

$$t_{\text{calculado}} = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Onde:

$\bar{x}$  = média da variável de interesse (poder calorífico e densidade básica);

$s$  = desvio padrão;

$\mu$  = valor de referência

$n$  = número de indivíduos amostrados.

As hipóteses testadas foram:

$H_0: \bar{x} = \mu$

$H_1: \bar{x} \neq \mu$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 *Sclerolobim paniculatum*

#### 4.1.1 Taxa de mortalidade

A taxa de mortalidade não foi significativo ( $p>0,05$ ), as árvores não sofreram influências das dosagens de fósforo e dos espaçamentos, foi inferior às demais taxas quando cultivado no espaçamento mais amplo 4m x 2m e adubado com 0g e 60g de fósforo, com o valor de 10% e 16,66%, respectivamente, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios da taxa de mortalidade para *S. paniculatum* com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamento (m) |       |       |
|------------------|-----------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2           | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 20,00           | 33,33 | 10,00 |
| 30               | 23,00           | 23,33 | 23,33 |
| 60               | 25,00           | 26,66 | 16,66 |
| 90               | 40,00           | 20,00 | 30,00 |
| 120              | 25,00           | 30,00 | 23,33 |

Abreu (2009) observou em seu estudo na região de Itacoatiara com os mesmos tratamentos supracitados que a taxa de mortalidade da espécie de *S. paniculatum* mostrou-se satisfatória onde foi levado em consideração o fato de que não houve disponibilidade de mudas para o processo de replantio que se mostrou necessária durante a implantação do experimento encontrando uma taxa de sobrevivência aos sete meses de 75,4%, aos 13 meses 71,2% e aos 16 meses 70,2%. Souza et al. (2004), aconselha manter uma reserva de mudas em boas condições (cerca de 20% do total), para um eventual replantio. De três ou quatro semanas após o plantio, devia-se fazer uma vistoria na área para identificar o índice de pegamento das plantas, e com falhas superiores a 5%, se realizaria o replantio das mudas.

Comparando a média de mortalidade da espécie com outros experimentos instalados na região, como o experimento implantado por Barbosa (2004) que estudou o desempenho de espécies florestais para produção de lenha no município de Iranduba-AM e obteve uma taxa de sobrevivência de 44,3% aos 12 meses de idade ou em comparação com o experimento instalado

por Souza et al.(2008) que analisou o desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia no município de Manaus com aplicação de 60g de superfosfato triplo por cova, com espaçamento de 3m x 3m e obteve uma taxa de sobrevivência de 83,3% aos três anos de idade e 55,6% aos 11 anos de idade, podemos concluir que a taxa de mortalidade não fugiu dos padrões analisados para a região ao atingir a taxa máxima de 40% de plantas mortas dentro do experimento aos cinco anos de idade como analisado.

Souza et al. (2010) estudando o comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia aos seis anos de idade, no ensaio 1 as espécies florestais foram plantados em pleno sol, no ecossistema de terra firme com espaçamento de 3m x 3m, no ensaio 2 o plantio foi feito em faixa de enriquecimento de capoeira com espaçamento de 3,5 x 7,0 m no sentido leste-oeste com largura de 3 m, a taxa de sobrevivência para *S. paniculatum* foi 63,9% a pleno sol e em Capoeira de 27,8%.

Outro fato a considerar-se em relação à taxa de mortalidade é a época de instalação do experimento, já que o plantio foi realizado no início do período de menor volume de precipitação pluviométrica, sendo que, Souza et al. (2004), recomenda que o plantio seja feito no início da estação chuvosa, logo que o solo esteja suficientemente umedecido. Lima (2004), ao analisar a produtividade de *Sclerolobium paniculatum* aos quatro anos, em projetos instalados nos Estados de Rondônia, Roraima e Amazonas, observou que a espécie apresentou melhor desenvolvimento em sítios com disponibilidade hídrica acima de 110 mm.

A menor taxa de mortalidade pode ter sido influenciada pelo maior espaçamento, o que resultou em menor competição por luz, água e nutrientes do solo.

#### **4.1.2 Altura**

Observa-se na Tabela 6, o crescimento da espécie estudada em altura. Ressalta-se que não há uma variação na altura entre os tratamentos, estatisticamente não foi significativo ( $p>0,05$ ).

Os tratamentos que obtiveram maiores desempenhos, foram os espaçamentos mais adensado 2m x 2m e espaçamentos intermediário 3m x 2m com a dosagem de 60g e 30g de fósforo, com o valor de 12,70 m e 12,67 m, respectivamente. O menor crescimento foi observado no espaçamento mais adensado 2m x 2m, com a dosagem 0g e 120g de fósforo com o valor de 10,66 m e 10,61 m.

Tabela 6 - Valores médio do crescimento em Altura para *S. paniculatum* com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamentos (m) |       |       |
|------------------|------------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2            | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 10,66            | 12,16 | 11,40 |
| 30               | 11,26            | 12,67 | 11,31 |
| 60               | 12,70            | 12,11 | 11,66 |
| 90               | 11,20            | 12,46 | 12,39 |
| 120              | 10,61            | 11,72 | 12,42 |

Abreu (2009) observou em seu estudo na região de Itacoatiara com os mesmos tratamentos supracitados aos 16 meses de idade, que o crescimento em altura da espécie de *S. paniculatum* mostrou-se superior quando plantado no espaçamento de 2m x 2m com a dose de 120g de fósforo com o valor de 2,6 m.

Souza e Sousa (2006) estudando desempenho inicial de *S. paniculatum* para produção de energia, ao aplicar 150g/cova de superfosfato simples e adotar o espaçamento 3m x 2m em três áreas no Município de Iranduba-AM, obtiveram média de crescimento em altura de 4,2 m ( área 1) com 2 anos de idade; 3,3 m (área 2) com um ano de idade; e 3,8 m (área 3) com um ano de idade.

Souza e Lima (2012), estudando a avaliação da adaptabilidade e produtividades de plantios de *S. paniculatum* na região de Manaus e Iranduba no Amazonas, ao avaliar o parâmetro de crescimento do plantio com espaçamento de 3m x 4m, a média de altura foi de 26,17 m com incremento médio anual de 2,37 m, aos 11 anos de idade no Caldeirão, os plantios com espaçamento de 3m x 2m aos 13 anos de idade localizado na sede da Embrapa o qual apresentou a média de altura de 22,45 m e o incremento médio anual de 1,69 m.

Kanashiro e Yared (1991) relatam em seus estudos na bacia Amazônica em Tapajós (PA) que o taxí-branco apresentou IMAs em alturas superiores a 2,5 m.ano<sup>-1</sup> com dois anos de idade.

Em um experimento feito por Souza et al.(2008) que analisou o desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia no município de Manaus com aplicação de 60g de superfosfato triplo por cova, com espaçamento de 3m x 3m, onde se destacou o *S. paniculatum* com crescimento em altura de 16,5 m aos 11 anos de idade.

Souza et al. (2010) estudando o comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia aos seis anos de idade, no ensaio 1 as espécies florestais foram plantados em pleno sol, no ecossistema de terra firme com espaçamento de 3m x 3m, no ensaio 2 o plantio foi feito em faixa de enriquecimento de capoeira com espaçamento de 3,5m x 7,0m no sentido leste-oeste com largura de 3 m, o crescimento de *S. paniculatum* em altura foi de 15,13 m a pleno sol e 13,45m na capoeira.

#### 4.1.3 Diâmetro (DAP)

Ao avaliar o crescimento diamétrico (Tabela 7), não foi constatada diferença significativa entre as médias para *S. paniculatum* ( $p>0,05$ ) indicando que o parâmetro de crescimento DAP (diâmetro à altura do peito), estatisticamente não sofreu influência dos diferentes espaçamento e dosagem de fósforo.

Ao adubar o plantio com 90g de fósforo no espaçamento intermediário 3m x 2m e espaçamento mais amplo 4m x 2m em média obtiveram maiores desempenhos, com crescimento de 10,37cm e 11,77cm, respectivamente. O menor crescimento diamétrico foi observado no espaçamento intermediário 3m x 2m e adensado 2m x 2m com 0g de fósforo, com o valor de 8,08 cm e 8,09 cm.

Tabela 7 - Valores médios do crescimento em diâmetro (DAP) para *S. paniculatum* com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamentos (m) |       |       |
|------------------|------------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2            | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 8,09             | 8,08  | 9,48  |
| 30               | 8,99             | 10,33 | 9,11  |
| 60               | 10,06            | 10,27 | 9,87  |
| 90               | 9,35             | 10,37 | 11,77 |
| 120              | 8,51             | 9,79  | 10,17 |

Abreu (2009) observou em seu estudo na região de Itacoatiara com os mesmos tratamentos supracitados aos 16 meses de idade, que o crescimento diamétrico da espécie de *S. paniculatum* mostrou-se superior quando plantado no espaçamento de 4m x 2m com a dose de 60g de fósforo com o valor de 3,2 cm.

Neto et al. (2003), explica que, em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira, por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, como ficou evidenciado neste estudo quando adotado o espaçamento 4m x 2m

Ao aplicar 60 g de superfosfato triplo e adotar o espaçamento 3m x 3m entre plantas, no Município de Manaus, em solo do tipo Latossolo Amarelo textura argilosa, com baixo pH e CTC baixa aos 11 anos de idade Souza et al. (2008), obteve crescimento diamétrico com valor de 22,4 cm e com incremento médio anual de 2,0 cm.ano<sup>-1</sup> para *S. paniculatum*, onde se destaca entre as demais espécies estudadas.

Souza et al. (2010) estudando o comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia aos seis anos de idade, no ensaio 1 as espécies florestais foram plantados em pleno sol, no ecossistema de terra firme com espaçamento de 3m x 3m, no ensaio 2 o plantio foi feito em faixa de enriquecimento de capoeira com espaçamento de 3,5m x 7,0 m no sentido leste-oeste com largura de 3 m, o crescimento de *S. paniculatum* em diâmetro foi de 12,05 cm a pleno sol e em Capoeira foi de 14,91 cm.

Souza e Lima (2012), estudando a avaliação da adaptabilidade e produtividades de plantios de *S. paniculatum* na região de Manaus e Iranduba no Amazonas, ao avaliar o parâmetro de crescimento do plantio com espaçamento de 3m x 4m, a média de diâmetro foi de 24,15 cm, aos 11 anos de idade no Caldeirão, os plantios com espaçamento de 3m x 2m aos 13 anos de idade localizado na sede da Embrapa o qual apresentou a média de diâmetro de 21,95 cm.

Em um experimento feito por Souza et al.(2008) que analisou o desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia no município de Manaus com aplicação de 60g de superfosfato triplo por cova, com espaçamento de 3m x 3m, onde se destacou o *S. paniculatum* com crescimento diamétrico de 22,4 cm aos 11 anos de idade.

Souza e Sousa (2006) estudando desempenho inicial de *S. paniculatum* para produção de energia, ao aplicar 150g/cova de superfosfato simples e adotar o espaçamento 3m x 2m em três áreas no Município de Iranduba-AM, obtiveram média de crescimento diamétrico de 4,3 cm ( área 1) com 2 anos de idade; 3,1 cm (área 2) com um ano de idade; e 3,5 cm (área 3) com um ano de idade.



#### 4.1.4 Volume

Ao avaliar o crescimento volumétrico, não houve diferença significativa entre as médias ( $p>0,05$ ) para *S. paniculatum* indicando que o parâmetro de crescimento em volume, estatisticamente não sofreu influência dos diferentes espaçamento e dosagem de fósforo, conforme a Tabela 8.

Observou-se no espaçamento adensado 2m x 2m, que o volume se mostrou superior quando adubado com a dose de 60g de fósforo, com o crescimento de 150,13 m<sup>3</sup>/ha . A dosagem de 90g de fósforo com o espaçamento intermediário (3m x 2m) e amplo (4m x 2m) em média obtiveram maiores desempenhos, com o valor de 110 m<sup>3</sup>/ha e 97,43 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente e o menor crescimento em volume foi observado no plantio sem adubação (0g de fósforo).

Tabela 8 - Valores médios de volume em m<sup>3</sup>/ha para *S. paniculatum* com cinco dosagem de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamentos (m) |        |       |
|------------------|------------------|--------|-------|
|                  | 2 x 2            | 3 x 2  | 4 x 2 |
| 0                | 86,26            | 71,62  | 60,25 |
| 30               | 131,22           | 107,91 | 61,40 |
| 60               | 150,13           | 101,21 | 70,61 |
| 90               | 141,26           | 110,82 | 97,43 |
| 120              | 110,24           | 96,65  | 76,56 |

Souza e Lima (2012), estudando a avaliação da adaptabilidade e produtividades de plantios de *S. paniculatum* na região de Manaus e Iranduba no Amazonas, ao avaliar o parâmetro de crescimento do plantio com espaçamento de 3m x 4m, a média de volume foi de 672,88 m<sup>3</sup>/ha, aos 11 anos de idade no Caldeirão, os plantios com espaçamento de 3m x 2m aos 13 anos de idade localizado na sede da Embrapa o qual apresentou a média de volume de 710,49 m<sup>3</sup>/ha.

Souza et al. (2010) estudando o comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia aos seis anos de idade, no ensaio 1 as espécies florestais foram plantados em pleno sol, no ecossistema de terra firme com espaçamento de 3m x 3m, no ensaio 2 o plantio foi feito em faixa de enriquecimento de capoeira com espaçamento de 3,5m x 7,0 m no sentido leste-oeste com largura de 3 m, o crescimento de *S. paniculatum* em volume foi 144,57 m<sup>3</sup>/ha a pleno sol e em Capoeira foi de 70,12 m<sup>3</sup>/ha.

Em um experimento feito por Souza et al.(2008) que analisou o desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia no município de Manaus com aplicação de 60g de superfosfato triplo por cova, com espaçamento de 3m x 3m, onde se destacou o *S. paniculatum* com crescimento volumétrico de 475,6 m<sup>3</sup>/ha aos 11 anos de idade.

Souza e Sousa (2006) estudando desempenho inicial de *S. paniculatum* para produção de energia, ao aplicar 150g/cova de superfosfato simples e adotar o espaçamento 3m x 2m em três áreas no Município de Iranduba-AM, obtiveram média de crescimento volumétrico de 19,6 m<sup>3</sup>/ha ( área 1) com 2 anos de idade; 5,1 m<sup>3</sup>/ha (área 2) com um ano de idade; e 6,8 m<sup>3</sup>/ha (área 3) com um ano de idade.

#### 4.1.4.1 Regressão para volume

As análises de regressão realizadas para volume de *S. paniculatum* foi significativo para os níveis de dosagem de fósforo considerando todos os espaçamentos ( $p < 0,05$ ) e mostrou que é possível estabelecer uma relação funcional entre o volume médio das plantas e as dosagens de fósforo, explicado pela regressão quadrática (Figura 13).

Derivando a equação de regressão, observou-se a melhor dosagem a ser aplicada é de 73,85g de fósforo, o que resultará numa produção máxima de 113,87 m<sup>3</sup>/ha.

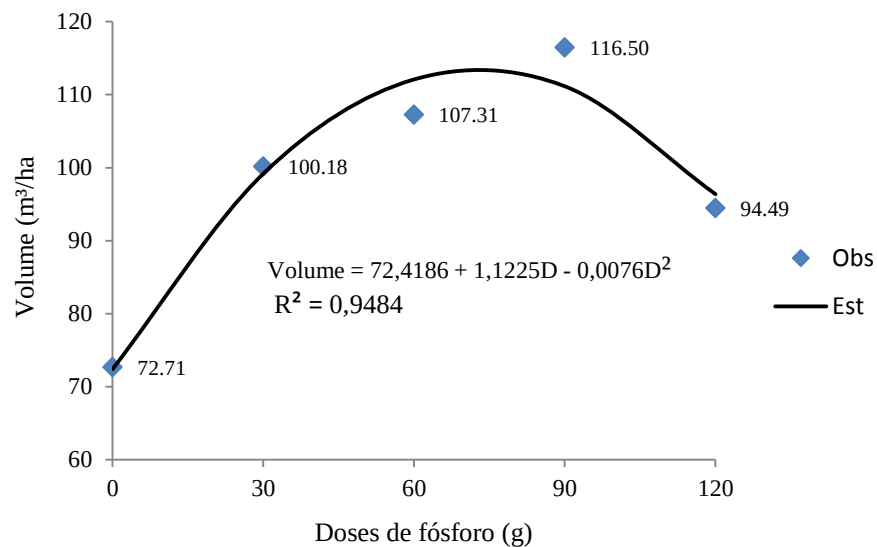


Figura 13 - Regressão do volume de *S. paniculatum* em função das doses de fósforo (D), levando em consideração todos os espaçamentos.

No estudo da regressão dos os níveis de dosagem de fósforo para os espaçamento 2m x 2m, 3m x 2m e 4m x 2m, verificou-se que houve regressão ( $p < 0,05$ ) somente das dosagens no espaçamento 2m x 2m, cujo efeito é explicado pelo modelo de regressão quadrática como mostra a Figura 14. Derivando a equação de regressão, observou-se que a melhor dosagem a ser aplicada é de 60,07g de fósforo, o que resultará numa produção máxima de 149,72 m<sup>3</sup>/ha para o espaçamento 2m x 2m.

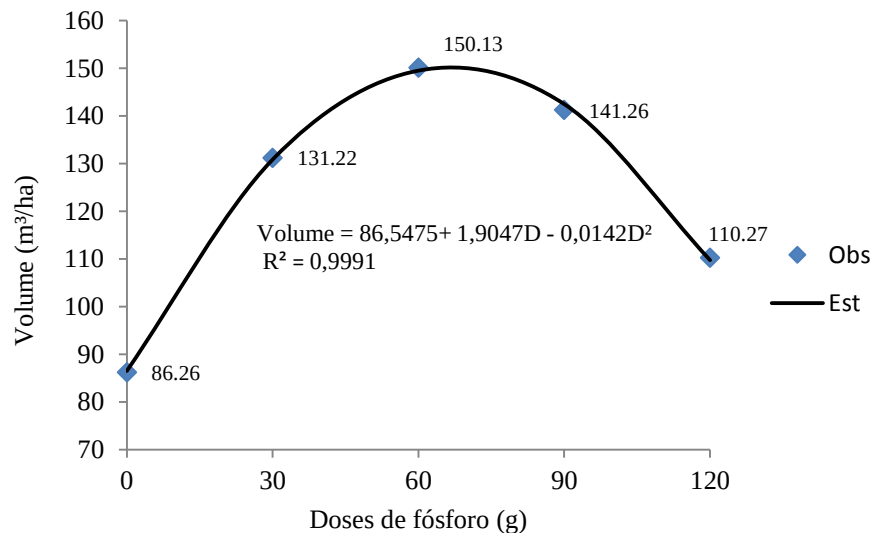


Figura 14 - Regressão do volume de *S. paniculatum* em função das doses de fósforo (D) para o espaçamento 2m x 2m.

#### 4.1.5 Produção e distribuição de biomassa

Ao analisar os valores de biomassa dos compartimentos do plantio de *Sclerolobium paniculatum*, observou-se que o fuste concentra mais biomassa com o valor de 25,64 kg/árvore, seguida pelo galho com 12,32 kg/árvore e folha com apenas 2,13 kg/árvore e o maior percentual de água encontra-se armazenado nas folhas com média de 50,59 %, o fuste aparece 43,65 e o menor percentual encontra-se no galho com 43,55 %, como mostra a Tabela 9. Analisou-se ainda o percentual de biomassa seca dos compartimentos como mostra a Figura 15, onde o fuste alocou 64% da biomassa total, seguido pelo galho (31%) e folha (5%).

Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão de biomassa seca e teor de água, obtidos por cada compartimentos do plantio de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade.

| Compartimentos | Biomassa (kg) | Teor de água (%) |
|----------------|---------------|------------------|
| Fohas          | 2,13 ± 1,38   | 50,59 ± 8,61     |
| Galhos         | 12,32 ± 8,03  | 43,55 ± 6,75     |
| Fuste          | 25,64 ± 14,74 | 43,65 ± 4,46     |

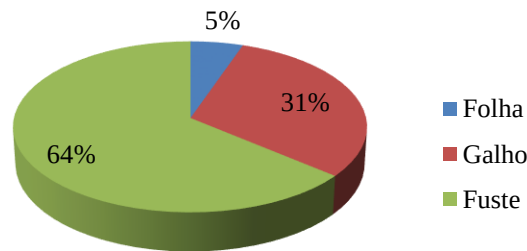


Figura 15 - Biomassa por compartimento em porcentagem no plantio de *S. paniculatum*, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

Esses dados concordam com os de Souza e Lima (2012) onde as análises feitas com o taxi-branco que é uma espécie indicada para produção de energia, que possui o espaçamento de 3m x 2m (13 anos) e 3m x 4m (11 anos), indicaram que o fuste foi o que mais armazenou biomassa, folha (8,129 kg com 43,1% de teor de água), galho (22,694 kg com 43,1% de teor de água) e fuste (188,341 com teor de água de 41%). Outra espécie muito utilizada é o *Pinus taeda*, onde Higa et al. (2012) diz que de todos os tratamentos observados, aos 14 anos de idade, a maior locação de biomassa foi no tronco com aproximadamente 70%.

Na produção de biomassa (kg/árvore), observou-se que a média ficou em 40,09 para *S. paniculatum* como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão de biomassa do plantio de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.

| Parâmetros | Biomassa Total (kg/árvore) |
|------------|----------------------------|
|            | <i>S. paniculatum</i>      |
| Média      | 40,09                      |
| Mediana    | 36,95                      |
| Máximo     | 132,58                     |
| Mínimo     | 2,20                       |
| Desvpad    | 23,12                      |

Higa et al. (2012) observaram o valor de 145,14 kg de biomassa em plantios de taxi-branco aos 9 anos. Xaud et al. (2006) estudando as mesmas espécies, reportam valores médios de 33,3 kg de biomassa/árvore, aos 6 anos de idade em espaçamento de 3m x 4 m.

Os maiores valores de biomassa por árvore, foram observados nos espaçamentos mais amplos (3m x 2 m e 4m x 2 m), quando comparados com os espaçamento mais reduzido (2m x 2 m), em razão da reduzida competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas

A distribuição de biomassa nos componentes da árvore foi alterada com a adubação e o espaçamento. A biomassa média de madeira, nos níveis 0g, 30g, 60g, 90g e 120g de adubação com fósforo, correspondeu a 11, 22, 27, 23 e 17% da biomassa total, respectivamente, no espaçamento 2m x 2m, no espaçamento 3m x 2m a 15, 19, 22, 23 e 21% e no espaçamento 4m x 2m foi de 16, 14, 20, 28 e 22% da biomassa total para *S. paniculatum* conforme a Figura 16.

Souza e Lima (2012) estudando o taxi-branco (*S. paniculatum*) que é uma espécie indicada para produção de energia, com espaçamento de 3m x 2m (13 anos) e 3m x 4m (11 anos), observaram o percentual de biomassa armazenada em duas classes diamétricas, com o valor de 88,81% no fuste, 8,47 no galho e 2,71 na folha na classe 1(8 a 18), na classe 2, o fuste armazenou 84,38%, galho (11%) e folha (5,11%).

Oliveira et al. (2008) observaram que os diferentes níveis de adubação não influenciaram a produção de biomassa por área, a 5% de significância, apresentando uma grande variação entre o valor mínimo individual e o máximo com valores de coeficientes de variação variando de 77% a 122%. Esse comportamento na produção de biomassa a 0% de umidade foi encontrado por Vale (2000) ao determinar a biomassa lenhosa aérea seca total de *Sclerolobium paniculatum* nativo de um cerrado *sensu strictu*, com idades diferentes, cujos valores individuais variaram de 3,26kg/árvore a 213,38kg/árvore, com um coeficiente de variação de 71,58%.

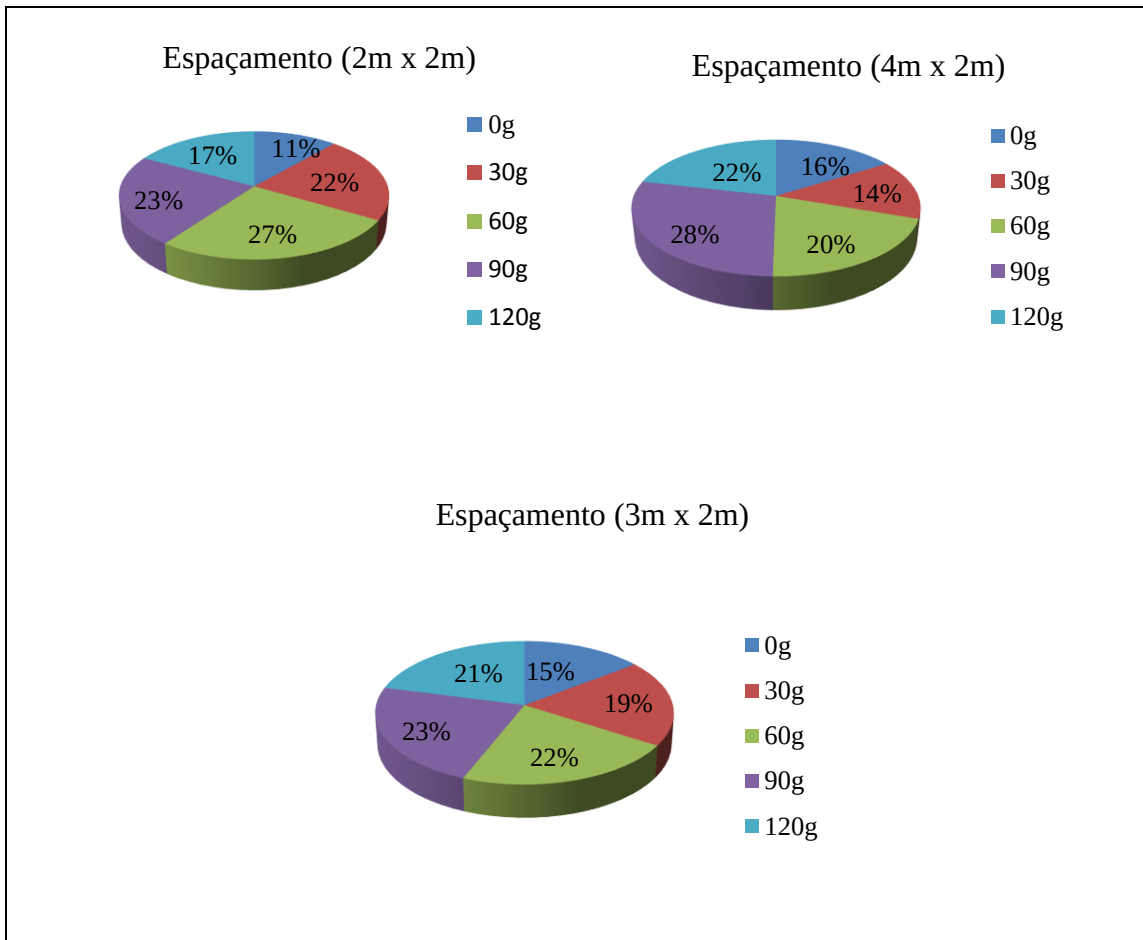


Figura 16 - Percentual de biomassa dos compartimentos por níveis de adubação e espaçamento para *S. paniculatum*.

Ao avaliar a produção de biomassa em Megagrama por hectare (Mg/ha), não houve interação ( $p > 0,05$ ). Dessa forma estudou-se os níveis espaçamento e dosagens de fósforo isoladamente.

O efeito principal espaçamento não foi significativo ( $p > 0,05$ ), entretanto houve diferença para os níveis de dosagem de fósforo ( $p = 0,0022$ ). Constatou-se na Tabela 11 que a maior produção de biomassa foi obtido ao adubar o plantio com 90g e 60g de fósforo, não diferindo estatisticamente das doses de 120g e 30g de fósforo pelo teste de Tukey.

Tabela 11 - Valores médios de biomassa em Megagrama por hectare (Mg/ha) para *S. paniculatum* com cinco dosagens de fósforo (P), aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>S. paniculatum</i>  |
|------------------|------------------------|
|                  | Biomassa média (Mg/ha) |
| 90               | 85,56 a                |
| 60               | 81,96 a                |
| 120              | 68,69 a b              |
| 30               | 66,98 a b              |
| 0                | 48,28 b                |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Souza e Lima (2012), estudando a avaliação da adaptabilidade e produtividades de plantios de *S. paniculatum* na região de Manaus e Iranduba no Amazonas, ao avaliar o parâmetro de crescimento do plantio com espaçamento de 3m x 4m o estoque de biomassa apresentou a média de 5,525 t/ha, aos 11 anos de idade no Caldeirão sendo esse valor superior quando comparado com os plantios com espaçamento de 3m x 2m aos 13 anos de idade localizado na sede da Embrapa o qual apresentou o estoque de biomassa média de 3,335 t/ha e observaram ainda que quanto maior o crescimento em altura e diâmetro, maior será o estoque de biomassa.

A produção de matéria seca de taxi, aos dois anos de idade, foi estimada em 302 kg/planta, o que confirma o potencial desta espécie na produção de madeira para indústria carboquímica (MATOS et al., 1995).

Castro et al. (1998) estudando o efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel), observaram em seu estudo que as maiores produções de biomassa foram verificadas nos espaçamentos menores, onde se encontra o maior número de árvores por unidade de área, assim o espaçamento 2m x 1m alcançou produtividade média de 1.355 kg/parcela seguido dos espaçamentos 1,5m x 1,5m com 1.351 kg/parcela e 3m x 1m com 1091 kg/parcela.

#### 4.1.5.1 Regressão para biomassa

As análises de regressão realizadas para biomassa foi significativo para os níveis de dosagem de fósforo ( $p < 0,05$ ) considerando todos os espaçamentos, explicado pela regressão

quadrática (Figura 17). Observou-se que há uma relação funcional entre a produção de biomassa e os níveis de dosagens de fósforo.

Derivando a equação de regressão, observou-se que a melhor dosagem a ser aplicada é de 75,68g de fósforo, o que resultará numa produção máxima de 86,83 Mg/ha.

Observa-se que as dosagens de fósforo apresentam a produção de biomassa mais elevado após a aplicação de 30g de fósforo, tendendo a estabilizar apartir da aplicação de 60g de fósforo, apresentando um decréscimo após a adubação com 90g de fósforo, havendo um nível máximo de produção de biomassa, a qual foi maior que o nível de 120g fósforo.

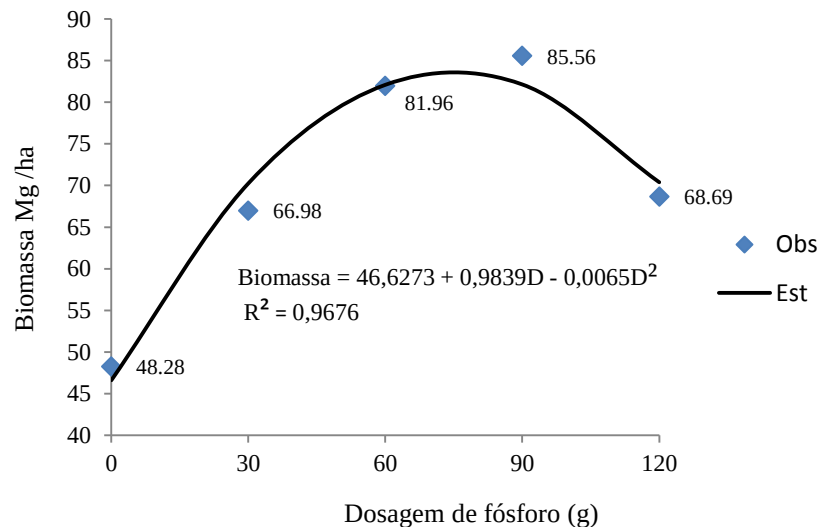


Figura 17 - Regressão da biomassa de *S. paniculatum* em função das doses de fósforo considerando todos os espaçamentos.

Legenda: Mg = megagrama (1Mg = 10<sup>6</sup>g); D = Doses de fósforo.

No estudo da regressão dos níveis de dosagem de fósforo para os espaçamentos 2m x 2m, 3m x 2m e 4m x 2m. Verificamos que houve regressão ( $p < 0,05$ ) das dosagens somente com o espaçamento 2m x 2m, explicado pela regressão quadrática (Figura 18). Derivando a equação de regressão, observou-se que a melhor dosagem a ser aplicada é de 66,45g de fósforo, o que resultará numa produção máxima de 110,16 Mg/ha para o espaçamento 2m x 2m.



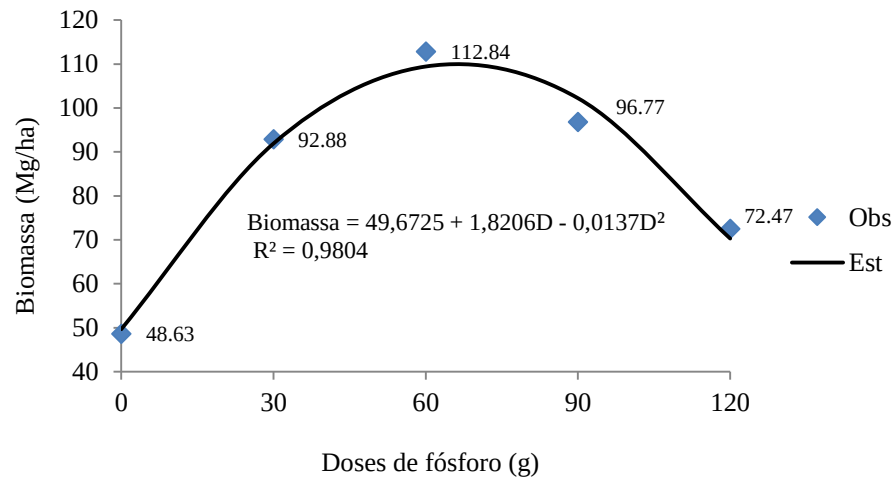


Figura 18 - Regressão de biomassa de *S. paniculatum* em função das doses de fósforo por espaçamento. Legenda: Mg = megagrama (1Mg = 10<sup>6</sup>g); D = Doses de fósforo.

#### 4.1.6 Fator de empilhamento

Na Tabela 12 estão representados os valores de volume de madeira sólido em metro cúbico (V m<sup>3</sup>) e volume de madeira empilhada em metro estéreo (V st) e o fator de empilhamento (Fe) e o fator de cubicação (Fc) no experimento de *S. paniculatum*, calculados pela razão de volumes.

Tabela 12 - Fator de cubicação (Fc) e empilhamento (Fe) obtido pela razão de volumes; onde Desvpad corresponde a desvio padrão e CV ao coeficiente de variação em percentual no plantio de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Espécies              | Parâmetros |        |            |            |          |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|------------|----------|--------|
|                       | V(st)      | V (m3) | Fe (médio) | Fc (médio) | Desvpad  | CV (%) |
| <i>S. paniculatum</i> | 16,35      | 10,28  | 0,63       | 1,59       | 0,046188 | 2,90   |

Com base nos resultados obtidos, pode-se verificar que a classificação do coeficiente de variação calculado para o fator de empilhamento é baixo, isto é, os resultados experimentais são homogêneos para esta espécie em estudo. O fator de empilhamento foi de 0,63 e observou-se o coeficiente de variação de 3,56 %. Pimentel-Gomes e Garcia (2002) consideram o coeficiente de variação para fator de cubicação baixos, uma vez que seus valores são inferiores a 10 %.

#### 4.1.7 Qualidade da madeira para produção de energia

##### 4.1.7.1 Densidade

A densidade básica da madeira para *S. paniculatum* não foi significativo ( $p>0,05$ ), não houve influência do espaçamento e dosagem de fósforo na densidade, com a variação de apenas  $0,55 \text{ g/cm}^3$  a  $0,59 \text{ g/cm}^3$ , como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Valores médios de Densidade Básica ( $\text{g/cm}^3$ ) para *S. paniculatum* com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamento (m) |       |       |
|------------------|-----------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2           | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 0,55            | 0,57  | 0,57  |
| 30               | 0,55            | 0,55  | 0,57  |
| 60               | 0,56            | 0,56  | 0,50  |
| 90               | 0,55            | 0,56  | 0,59  |
| 120              | 0,57            | 0,55  | 0,56  |

A variação da densidade médio ao longo do fuste tem seus valores apresentados na Tabela 14. A densidade básica variou de  $0,63 \text{ g/cm}^3$  na base,  $0,60 \text{ g/cm}^3$  no meio e  $0,59 \text{ g/cm}^3$  no ápice do fuste. O coeficiente de variação obtido foi de 7,32%, indicam menor variabilidade e maior homogeneidade quanto a distribuição da densidade.

Tabela 14 - Densidade média ( $\text{g/cm}^3$ ) por compartimento para a madeira de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

| Espécies              | Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) |      |       |       |        |
|-----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--------|
|                       | Base                          | Meio | Ápice | Média | CV (%) |
| <i>S. paniculatum</i> | 0,63                          | 0,60 | 0,59  | 0,61  | 7,32   |

Souza e Lima (2012) estudando o taxi-branco (*S. paniculatum*) que é uma espécie indicada para produção de energia, com espaçamento de 3 x 2m (13 anos) e 3 x 4m (11 anos), o resultado que encontraram para densidade básica foi de  $0,53 \text{ g/cm}^3$ , o que se assemelha com os de Oliveira et al. (2008), ao estudarem a espécie *S. paniculatum* em diferentes níveis de adubação aos 18 anos de idade com o espaçamento de 3m x 2m, com o valor de  $0,53 \text{ g/cm}^3$ , os valores de densidade encontrados nesses estudos foram inferiores a este estudo com a média de  $0,61 \text{ g/cm}^3$ .

Vale et al. (1992) encontrou valores de densidade básica de  $0,70 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$  para o carvoeiro nativo.

#### 4.1.7.2 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira para *S. paniculatum* não foi significativo ( $p>0,05$ ), não houve influência do espaçamento e dosagem de fósforo no teor de umidade, com a variação de 71,40% a 87,46%, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Teor de umidade (%) por espaçamentos e doses de fósforo para a madeira de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamento (m) |       |       |
|------------------|-----------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2           | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 81,31           | 75,36 | 71,40 |
| 30               | 85,49           | 83,34 | 84,11 |
| 60               | 84,69           | 85,09 | 75,62 |
| 90               | 87,46           | 79,84 | 73,13 |
| 120              | 77,09           | 76,41 | 79,79 |

A variação da densidade e teor de umidade médio e ao longo do fuste tem seus valores apresentados na Tabela 16. Os valores médios do teor de umidade variam de 72,59% na base do fuste, 84,75% no meio do fuste e 80,54 no ápice do fuste. O coeficiente de variação foi 22,44% indicam a variabilidade e homogeneidade quanto a distribuição da umidade a o longo do fuste.

Tabela 16 - Teor de umidade médio (%) por compartimento para a madeira de *S. paniculatum* aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

| Espécies              | Teor de Umidade (%) |       |       |       |        |
|-----------------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|
|                       | Base                | Meio  | Ápice | Média | CV (%) |
| <i>S. paniculatum</i> | 72,59               | 84,27 | 84,75 | 80,54 | 22,44  |

#### 4.1.8 Modelos ajustados para biomassa acima do solo

Os valores encontrados para os coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) e para os erros-padrão de estimativas (Syx %) das equações ajustadas para estimar a biomassa das árvores de *S. paniculatum* mostram-se eficientes.

Entre os modelos avaliados para estimar biomassa de *S. paniculatum*, o de Dissescu e Meyer (modelo 2) foi o que se ajustou melhor aos dados e apresentou melhor distribuição dos resíduos com apenas uma variável independente, pode-se observar na Figura 19 que os resíduos do modelo de Dissescu e Meyer ficaram mais homogeneamente distribuídos e com menor amplitude que os demais modelos, apresentado  $R^2_{ajust}$  de 94,28% e Syx de 11,13% (Tabela 17).

Tabela 17. Estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais ajustados e medidas de precisão para estimar biomassa acima do solo de *S. paniculatum*, aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.

| Nº | Equação                                 | Coeficientes |           |           | F        | R <sup>2</sup> ajust | Syx   |
|----|-----------------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------|----------------------|-------|
|    |                                         | $\beta_0$    | $\beta_1$ | $\beta_2$ |          | (%)                  | (%)   |
| 1  | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2$            | -39,543800   | 8,363400  | -         | 512,10*  | 75,37                | 11,54 |
| 2  | $Ps = \beta_0 d + \beta_1 d^2$          | -0,091850    | 0,424990  | -         | 1385,02* | 94,28                | 11,13 |
| 3  | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1}$              | 0,401930     | 2,014900  | -         | 2229,00* | 77,23                | 11,13 |
| 4  | $\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln d$      | -0,969210    | 2,024420  | -         | 697,10*  | 80,65                | 0,26  |
| 5  | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$          | 7,656690     | 0,026922  | -         | 586,31*  | 77,80                | 10,96 |
| 6  | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$  | 0,144630     | 1,661320  | 0,73513   | 6522,07* | 78,57                | 10,83 |
| 7  | $\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h)$ | -1,984800    | 0,799100  | -         | 677,51*  | 80,20                | 0,26  |
| 8  | $Ps = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$        | 0,286945     | 0,009914  | -         | 2586,07* | 77,84                | 10,98 |

Legenda: Ps = Biomassa seca;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Parâmetros do modelo; Ln = Logaritmo neperiano; d = Diâmetro à altura do peito; h = Altura total;  $R^2_{ajust}$  = Coeficiente de determinação ajustado e Syx = Erro-padrão da estimativa; \* = Significativo a 5% pelo teste F.

Miranda et al. (2011), desenvolvendo modelos alométricos para estimativa do carbono total das árvores de diferentes espécies plantadas em áreas de restauração florestal no Estado de São Paulo, obtiveram um  $R^2$  ajust. acima de 95% e Sy.x de  $\pm 31,19\%$ , encontrando resultados ainda melhores quando estratificado de acordo com o ritmo de crescimento das plantas.

Amaro (2010), desenvolvendo estudo em Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa, obteve uma equação para estimar carbono com coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajust.) de 95,34% e erro-padrão de estimativa (Sy.x) de  $\pm 23,6\%$ .

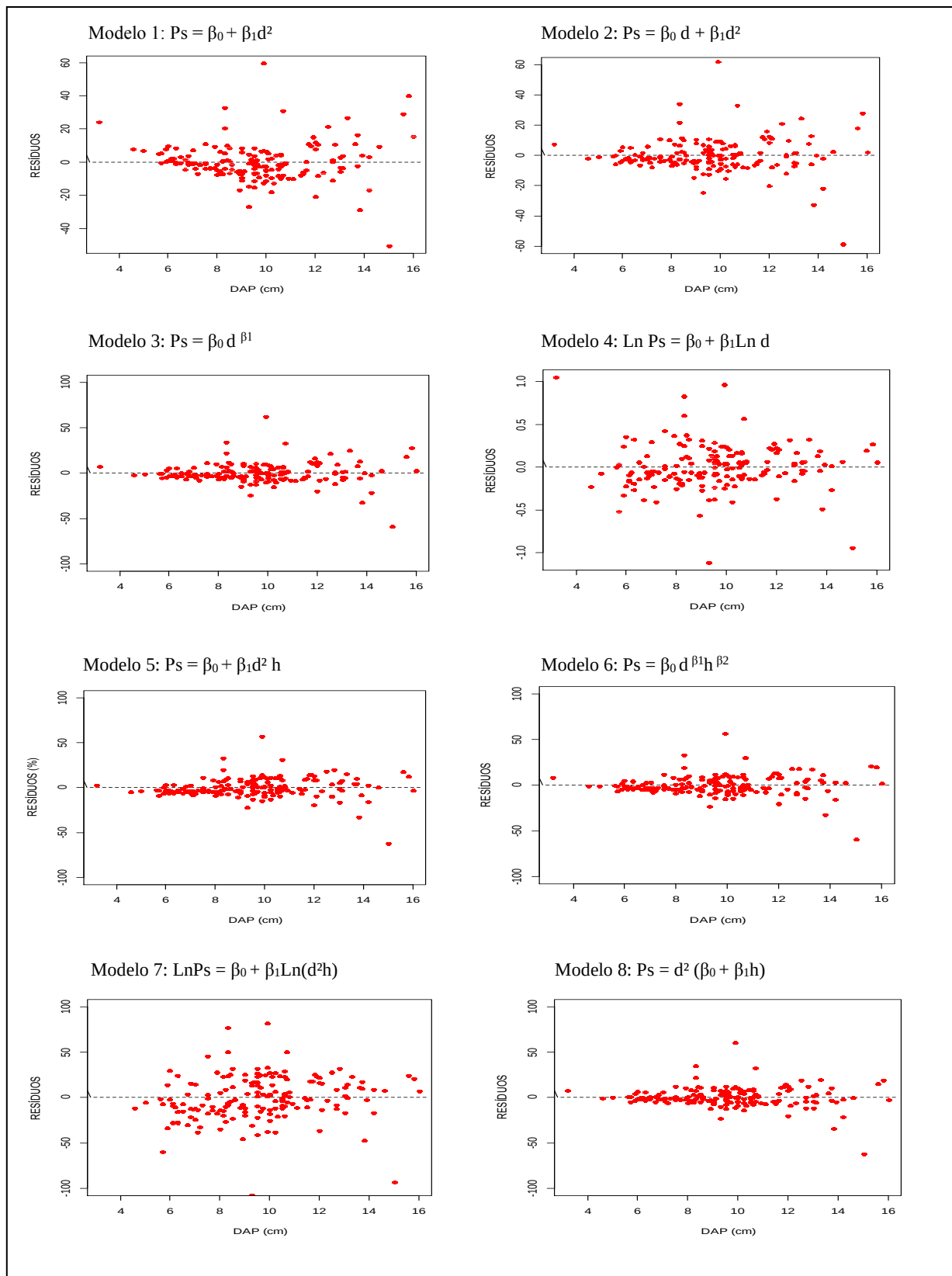


Figura 19. Resíduos das equações de biomassa para *S. paniculatum*. Itacoatiara - AM, 2014.

De acordo com estudos de Rossi et al. (2003), a análise dos modelos matemáticos ajustados para o *S. paniculatum* para a produção volumétrica mostrou excelente ajuste, apresentando valores de  $R^2$  superiores a 99%, com o valor de 99,43 de  $R^2$ ajust e Syx 9,32%. A análise gráfica da produção em volume mostrou que para essa espécie ainda há tendência de crescimento, pois não há estabilização no segmento superior da curva sigmoidal.

## 4.2 *Eucalyptus urograndis*

### 4.2.1 Taxa de mortalidade

Na Tabela 18, observou-se que o teste da interação entre o espaçamento e dosagem de fósforo não foi significativo ( $p>0,05$ ), analisando os efeitos principais espaçamento e dose de fósforo, constatou-se que o efeito espaçamento não foi significativo ( $p>0,05$ ), entretanto a dosagem de fósforo foi altamente significativo ( $p<0,05$ ), o que implica que os valores médios de mortalidade não são os mesmos nos cinco níveis de adubação. Observou-se que ao adubar o plantio com 60g, 30g e 120g de fósforo a taxa de mortalidade foram estatisticamente iguais e inferiores as demais.

Tabela 18 - Valores médios da taxa de mortalidade para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo (P), aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>E. urograndis</i> |
|------------------|----------------------|
|                  | Mortalidade (%)      |
| 60               | 0,00 a               |
| 30               | 0,00 a               |
| 120              | 3,33 a b             |
| 90               | 6,66 b               |
| 0                | 14,44 c              |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espécie em estudo apresentou baixa taxa de mortalidade em todos os tratamentos testados, sendo encontrados valores entre 0% a 14,44%. Esses valores se aproximam dos resultados encontrados por Tonini et al. (2006), que avaliou clones de *E. urograndis* aos cinco, seis e setes anos de idade em Roraima, plantados no espaçamento 3,0 m x 2,0 m e 60 kg de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/cova. Souza, et al. (2004) ao avaliar os mesmos clones aos 4 anos de idade, com os mesmos tratamentos supracitados, chegou a resultados de sobrevivência entre 90% a 100%.

Batista (2009) estudando *E. urograndis* com os mesmos tratamentos supracitados na região de Itacoatiara - AM, aos 16 meses de idade observou alta taxa de sobrevivência em todos os tratamentos testados, sendo encontrados valores entre 90% a 100%, as menores taxas observadas foram no espaçamento 2m x 2m, com dosagem de 0 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e no espaçamento 3 x 2 m, com dosagem de 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### 4.2.2 Altura

Observou-se que o teste da interação entre o espaçamento e dosagem de fósforo não foi significativo ( $p>0,05$ ), analisando os efeitos principais espaçamento e dose de fósforo, constatou-se que o efeito espaçamento não foi significativo ( $p>0,05$ ), entretanto a dosagem de fósforo foi altamente significativo ( $p<0,05$ ), o que implica que os valores médios de altura da árvore de *E. urograndis* não são os mesmos nas diferentes dosagens de fósforo. Observou-se que ao adubar o plantio com 120g e 90g de fósforo as árvores obtiveram melhores desempenhos, com o crescimento de 14,54 m e 13,49 m de altura e diferindo das demais (Tabela 19). Pode-se inferir nas análises estatísticas que, conforme se aumenta a doses de fósforo, os crescimentos em altura das árvores aumentam.

Tabela 19 - Valores médios do crescimento em Altura para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo (P) aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>E. urograndis</i> |
|------------------|----------------------|
|                  | Altura (m)           |
| 120              | 14,54 a              |
| 90               | 13,49 a b            |
| 60               | 11,79 b              |
| 30               | 9,22 c               |
| 0                | 4,63 d               |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Batista (2009) estudando *E. urograndis* na região de Itacoatiara - AM, aos 16 meses de idade observou que a maior média de altura (7,11 cm) foi alcançada pelas árvores com

espaçamento intermediário 3m x 2m (6 m<sup>2</sup>), seguida pela menor média de 4,89 cm no menor espaçamento 2 x 2m (4 m<sup>2</sup>) resultado semelhante encontrado aos cinco anos de idade neste estudo.

Pereira et al. (2006) em sua pesquisa no plantio de *E. grandis* com a redução do espaçamento de 3m x 2m para 3m x 1, verificaram uma tendência de maior crescimento em altura, justificando o resultado em razão da competição por luz, o que estimularia o crescimento em altura das plantas. Patino-Valera (1986) também verificou que o crescimento em altura, para *E. saligna*, com os espaçamentos supracitados, foi maior no espaçamento mais adensado, aos 32 meses de idade.

#### 4.2.3 Diâmetro (DAP)

Avaliando o crescimento diamétrico para *E. urograndis*, observou-se que o teste da interação entre o espaçamento e dosagem de fósforo não foi significativo ( $p>0,05$ ), analisando os efeitos principais espaçamento e dose de fósforo, constatou-se que o efeito espaçamento não foi significativo ( $p>0,05$ ), entretanto a dosagem de fósforo foi altamente significativo ( $p<0,05$ ), o que implica que os valores médios diâmetro variaram com as diferentes dosagens de fósforo. Notou-se que ao adubar o plantio com 120g e 90g de fósforo as árvores obtiveram maiores crescimento diamétricos com o valor de 12,47 cm e 12,22 cm, diferindo estatisticamente das demais (Tabela 20). Pode-se inferir nas análises estatísticas que, conforme se aumenta a doses de fósforo, os crescimentos em diâmetro das árvores aumentam.

Tabela 20 - Valores médios de crescimento em diâmetro (DAP) para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo (P) aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>E. urograndis</i> |
|------------------|----------------------|
|                  | DAP (cm)             |
| 120              | 12,47 a              |
| 90               | 11,22 a b            |
| 60               | 9,75 b c             |
| 30               | 8,47 c               |
| 0                | 3,94 d               |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Batista (2009) estudando *E. urograndis* na região de Itacoatiara - AM, aos 16 meses de idade observou que a maior média diamétrica (6,43 cm) foi alcançada pelas árvores com espaçamento intermediário 3m x 2m (6 m<sup>2</sup>), seguida pela menor média de 4,38 cm no maior espaçamento 4m x 2m (8 m<sup>2</sup>). Esses resultados divergem dos encontrados na literatura, onde plantios instalados em espaçamentos mais amplos, as plantas tendem a apresentar diâmetros maiores (BOTELHO, 1998), esse comportamento também pode estar relacionado ao comportamento do clone frente à qualidade do sítio e condições climáticas.

Souza et al. (2004), avaliando cinco clones de *E. urograndis* aos quatro anos de idade, no espaçamento 3m x 2 m, e 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> chegaram a valores de crescimento em diâmetro entre 6,4 a 10,6 cm, diferindo de Arco-Verde e Schwengber (2003), ao avaliar os mesmos clones de *E. urograndis* aos dois anos e meio de idade encontraram valores entre 7,58 à 12,54 cm, com o mesmo tratamento supracitado.

Com relação à adubação, observou-se o efeito positivo da aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As correlações positivas observadas indicam que o aumento na oferta do elemento no solo, através da adubação, possibilitará uma maior absorção pelas árvores e, conseqüentemente, maior crescimento destas.

#### 4.2.4 Volume

Avaliando o crescimento volumétrico para *E. urograndis*, observou-se que a interação entre o espaçamento e dosagem de fósforo não foi significativo ( $p>0,05$ ), analisando os efeitos principais espaçamento e dose de fósforo, constatou-se que o efeito espaçamento não foi significativo ( $p>0,05$ ), entretanto na dosagem de fósforo diferenças altamente significativas foram detectadas ( $p<0,05$ ), o que implica que os valores médios diâmetro variaram com as diferentes dosagens de fósforo.

Notou-se que ao adubar o plantio com 120g e 90g de fósforo as árvores obtiveram maiores produções volumétricas com o valor de 172,19 m<sup>3</sup>/ha e 148,40 m<sup>3</sup>/ha, diferindo estatisticamente das demais (Tabela 21). Pode-se inferir nas análises estatísticas que, conforme se aumenta a doses de fósforo, as produções em volumes das árvores aumentam.

Tabela 21 - Valores médios de volume em m<sup>3</sup>/ha para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>E. urograndis</i>        |     |
|------------------|-----------------------------|-----|
|                  | Volume (m <sup>3</sup> /ha) |     |
| 120              | 172,19                      | a   |
| 90               | 148,40                      | a b |
| 60               | 92,12                       | b c |
| 30               | 70,45                       | c d |
| 0                | 10,66                       | d   |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.2.4.1 Regressão para volume

As análises de regressão realizadas para volume dentro dos níveis de dosagens de fósforo foi significativo ( $p < 0,05$ ) considerando todos os espaçamentos, explicado pela regressão linear (Figura 20). Observou-se que há uma relação funcional entre a produção volumétrica e os níveis de dosagens de fósforo. Nota-se um aumento significativo na produção do volume, conforme se aumenta as doses de fósforo.

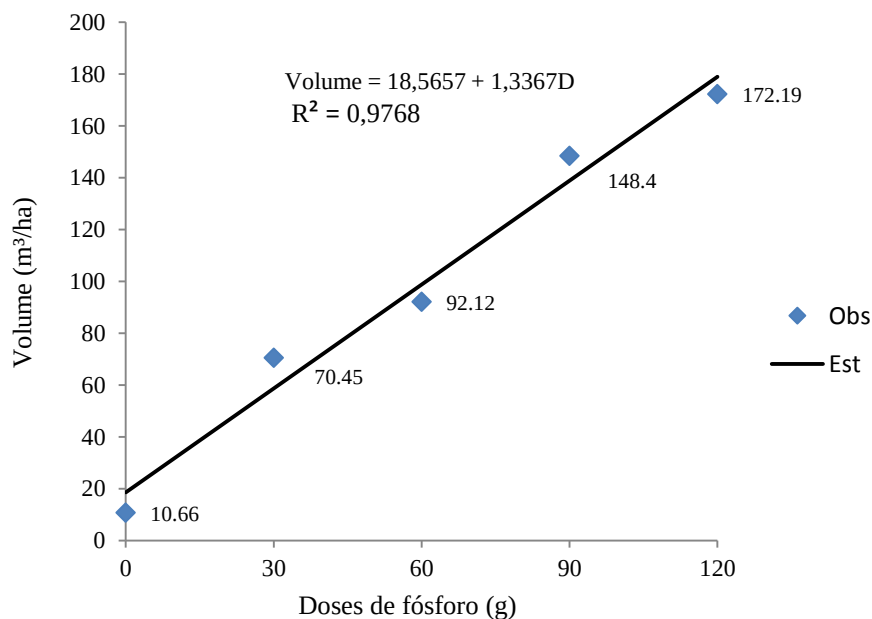


Figura 20 - Regressão do volume de *E. urograndis* em função das doses de fósforo (D) considerando todos os espaçamentos.

No estudo da regressão dos níveis de dosagem de fósforo para os espaçamentos 2m x 2m, 3m x 2m e 4m x 2m. Verificamos que houve regressão ( $p < 0,05$ ) das dosagens com todos os espaçamentos, explicado pelo modelo de regressão cúbica para o espaçamento 2m x 2m e linear para o espaçamento 3m x 2m e 4m x 2m como mostra a Figura 21.

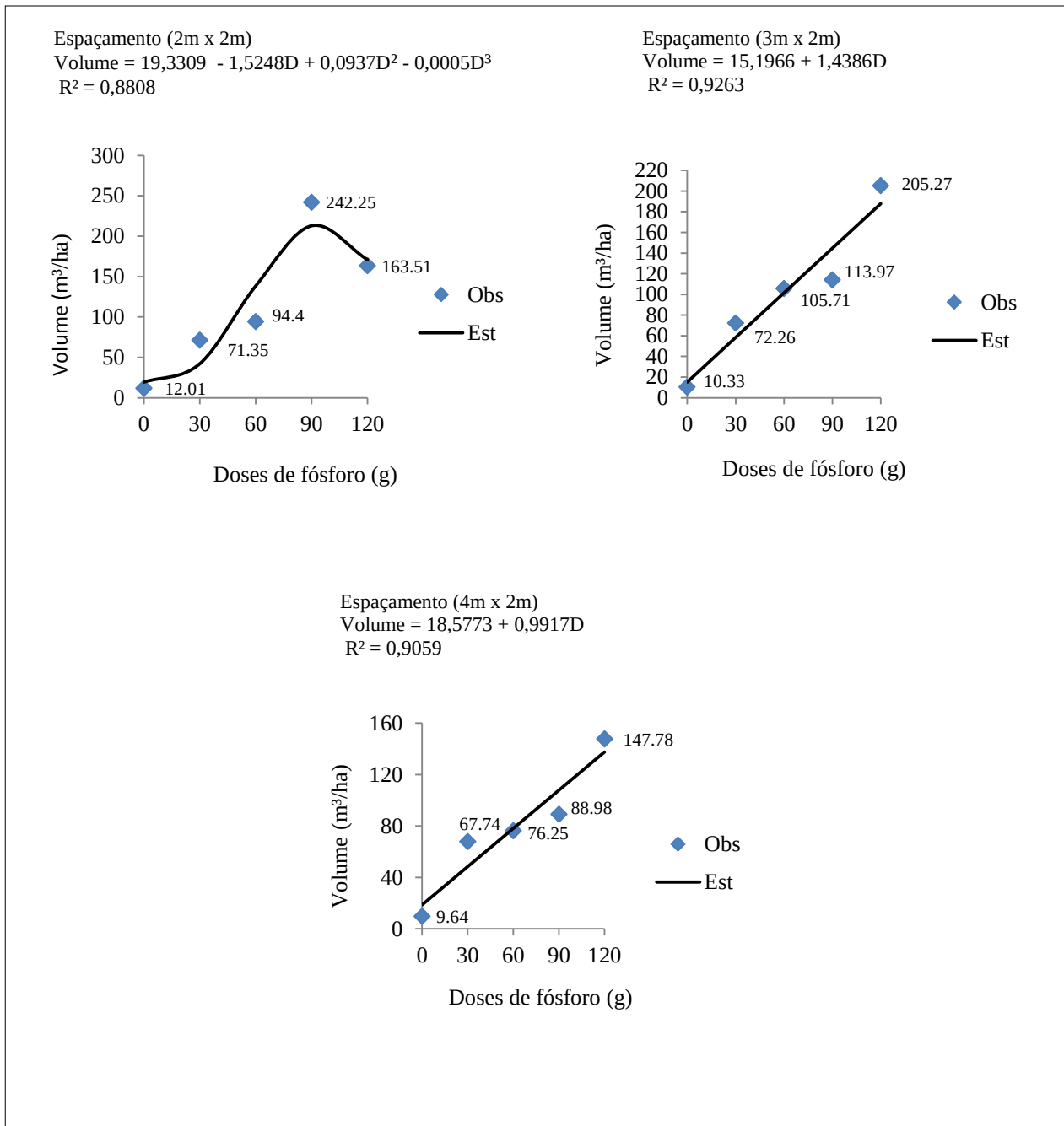


Figura 21 - Regressão do volume de *E. urograndis* em função das doses de fósforo (D) para cada espaçamento.

#### 4.2.5 Produção e distribuição de biomassa

Observou-se neste estudo que o fuste apresentou maior estocagem de biomassa com o valor de 26,14 kg/árvore, seguida pelo galho com 2,78 kg/árvore e com 0,56 kg/árvore na folha, porém, o percentual de água se mostrou baixo nas folhas com o valor de 50,92 % e alto no fuste com 55,99 %, já o galho se mostrou com o percentual intermediário com 52,74 %, como mostra a Tabela 22. Analisou-se ainda o percentual de biomassa seca dos compartimentos como mostra a Figura 22, onde o fuste alocou 89% da biomassa total, seguido pelo galho (9%) e folha (2%).

Tabela 22 - Valores médios e desvio padrão de biomassa seca e teor de água, obtidos por cada compartimentos do plantio de *Eucalyptus urograndis* aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Compartimentos | Biomassa (kg) | Teor de água (%) |
|----------------|---------------|------------------|
| Folhas         | 0,56 ± 0,66   | 50,92 ± 8,88     |
| Galhos         | 2,78 ± 3,37   | 52,74 ± 8,18     |
| Fuste          | 26,14 ± 22,72 | 55,99 ± 4,69     |

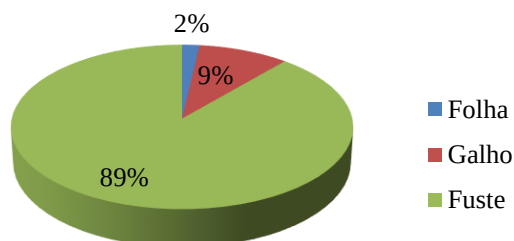


Figura 22 - Biomassa por compartimento em porcentagem no plantio de *E. urograndis*, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

Higa et al. (2012) estudando *Pinus taeda*, diz que de todos os tratamentos observados, aos 14 anos de idade, a maior locação de biomassa foi no tronco com aproximadamente 70%.

A biomassa (kg/árvore) média, encontrado neste estudo foi de 29,86 para *E. urograndis* como mostra a Tabela 23.

Tabela 23 - Valor médio, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão de biomassa do plantio de *E. urograndis* aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014.

| Parâmetros | Biomassa Total (kg/árvore) |
|------------|----------------------------|
|            | <i>E. urograndis</i>       |
| Média      | 29,46                      |
| Mediana    | 23,25                      |
| Máximo     | 110,46                     |
| Mínimo     | 0,84                       |
| Desvpad    | 25,74                      |

Os maiores valores de biomassa por árvore, foram observados nos espaçamentos mais amplos (3m x 2m e 4m x 2m), quando comparados com os espaçamento mais reduzido (2m x 2m), em razão da reduzida competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas. Este mesmo comportamento foi observado por Neto et al. (2003) estudando a produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta a adubação e ao espaçamento aos 32 meses de idade, foi observado em seu estudo que o espaçamento mais amplo (3m x 4m e 3m x 5m) produziu a maior quantidade de biomassa em comparação com o espaçamento mais adensado (2m x 2m).

A biomassa total (Figura 23), levando em consideração os níveis 0g, 30g, 60g, 90g e 120g de adubação com fósforo, correspondeu a 2, 13, 17, 41 e 27% da biomassa total para o espaçamento 2m x 2m, no espaçamento 3m x 2m correspondeu a 2, 18, 20, 17 e 43% e no espaçamento 4m x 2m correspondeu a 2, 10, 20, 23 e 45% da biomassa total.

Neto et al. (2003) estudando a produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta a adubação e ao espaçamento aos 32 meses de idade, a distribuição de biomassa nos componentes da árvore foi alterada com a adubação, o espaçamento e a idade das plantas. A biomassa média de madeira, nos níveis 0, 1, 2 e 4 de adubação, correspondeu a 34, 43, 42 e 44% da biomassa total, respectivamente, levando em consideração todos os espaçamentos.

Os mesmos autores anteriores comparando a biomassa total por árvore, observaram que os níveis de adubação 1, 2 e 4 apresentaram ganhos médios de 41, 77 e 57%, respectivamente, em relação ao nível zero e, para a produção de madeira esses ganhos foram mais acentuados, correspondendo, em média, a 71, 120 e 98%, respectivamente. A produção de biomassa do sistema radicular por árvore aumentou em 25, 53 e 25% nos níveis de adubação 1, 2 e 4, respectivamente, quando comparada com a biomassa produzida no nível zero.

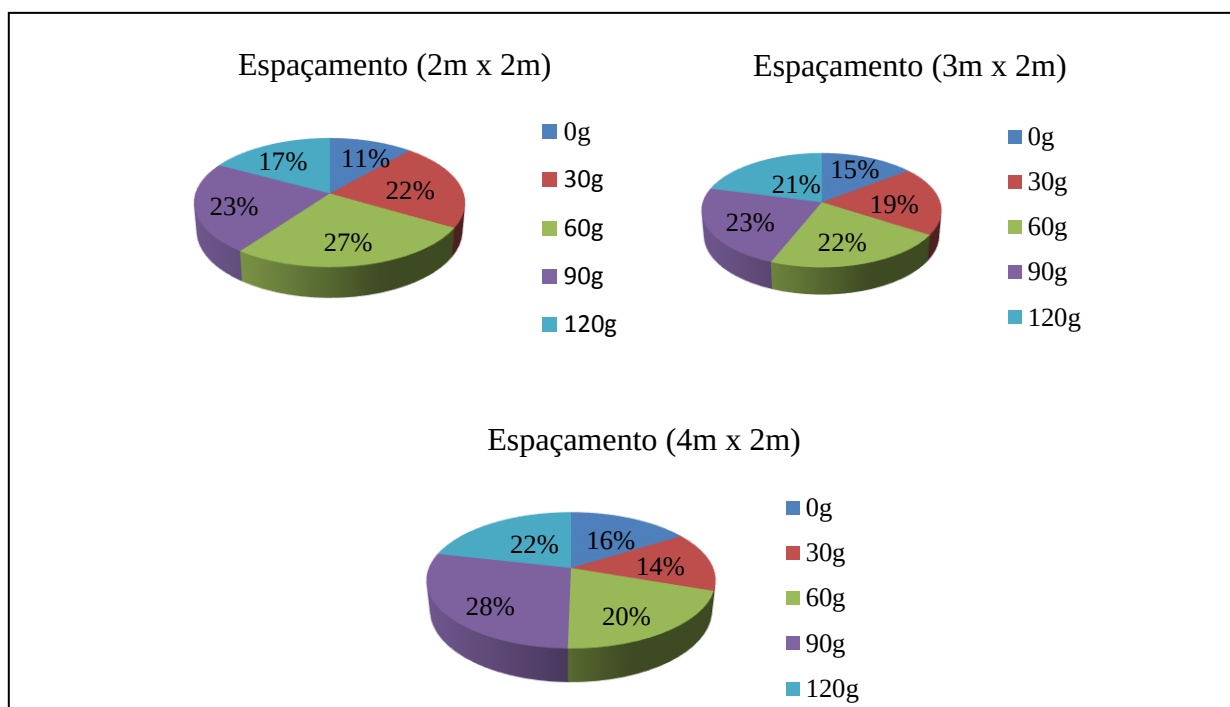


Figura 23 - Percentual de biomassa dos compartimentos por níveis de adubação e espaçamento para *E. urograndis*.

Verificamos, na Tabela 24, que a interação é significativa ( $p = 0,01175$ ). Assim, no espaçamento 2m x 2m as doses de 90g e 120g não diferem e se mostram eficientes, no espaçamento 3m x 2m a dose de 120g mostrou-se superior, diferindo das demais e no espaçamento 4m x 2m as doses de 60g, 90g e 120g não diferem entre si, sendo as demais iguais estatisticamente pelo teste de tukey a 5%.

Tabela 24 - Valores médios de biomassa Mg/ha para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo (P) e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | Espaçamentos (m) |     |        |   |       |     |
|------------------|------------------|-----|--------|---|-------|-----|
|                  | 2 x 2            |     | 3 x 2  |   | 4 x 2 |     |
| 0                | 5,79             | c   | 5,38   | b | 5,00  | b   |
| 30               | 38,54            | b c | 48,75  | b | 19,83 | b   |
| 60               | 51,83            | b c | 52,96  | b | 39,50 | a b |
| 90               | 123,51           | a   | 46,29  | b | 47,33 | a b |
| 120              | 80,78            | a b | 114,69 | a | 89,90 | a   |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que conforme se aumenta a doses de fósforo, as produções de biomassa das árvores aumentam em todas as interações e que a produção da biomassa diminui na maioria das interações, conforme aumenta o espaçamento entre as árvores.

Neto et al. (2003) estudando a produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta a adubação e ao espaçamento aos 32 meses de idade, observou em seu estudo que a produção de matéria seca por unidade de área, aumentou com a aplicação de níveis crescentes de fertilizante e decresceu com o aumento do espaçamento entre plantas.

Santos et al. (2012) estudando a propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *eucalyptus* plantada no espaçamento de 3m x 3m, aos seis anos de idade. As estimativas de massa de matéria seca de madeira foi de 23,28 t/ha (clone 1), 19,49 t/ha (clone 2) e 21,40 t/ha (clone 3), em Turmalina, já em Itacambira foi encontrado uma massa seca de madeira de 16,5 t/ha (clone 1), 20,18 t/ha (clone 2) e 15,27 t/ha (clone 3). Em seu estudo Torres et al. (2013) para fragmento florestal encontrou a biomassa total de 116,98 t/ha, utilizando equações regionais e 107,59 t/ha de biomassa total pela metodologia do IPCC.

#### 4.2.5.1 Regressão biomassa

Houve regressão para os níveis de dosagens de fósforo ( $p < 0,05$ ), explicado pela regressão linear (Figura 24) considerando todos os espaçamentos. Observou-se que há uma relação funcional entre a produção volumétrico e os níveis de dosagens de fósforo. Nota-se um aumento significativo na produção de biomassa, conforme se aumenta as doses de fósforo.

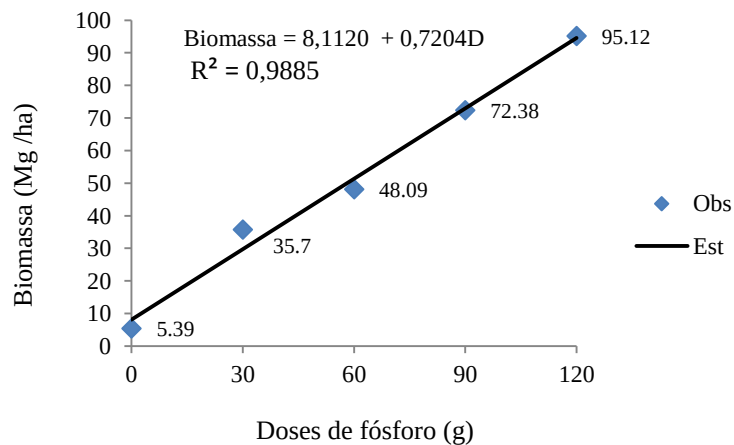


Figura - 24 Regressão da biomassa de *E.urograndis* em função das doses de fósforo para os espaçamentos. Legenda: Mg = megagrama ( $1Mg = 10^6g$ ); D = Doses de fósforo.

No estudo da regressão para os níveis de dosagem de fósforo dentro do espaçamento 2m x 2m, 3m x 2m e 4m x 2m. Verificamos que houve regressão ( $p < 0,05$ ) das dosagens com todos os espaçamentos, explicado pela equação de regressão cúbica para os espaçamentos 2m x 2m e 3m x 2m e linear para o espaçamento 4m x 2m (Figura 25).

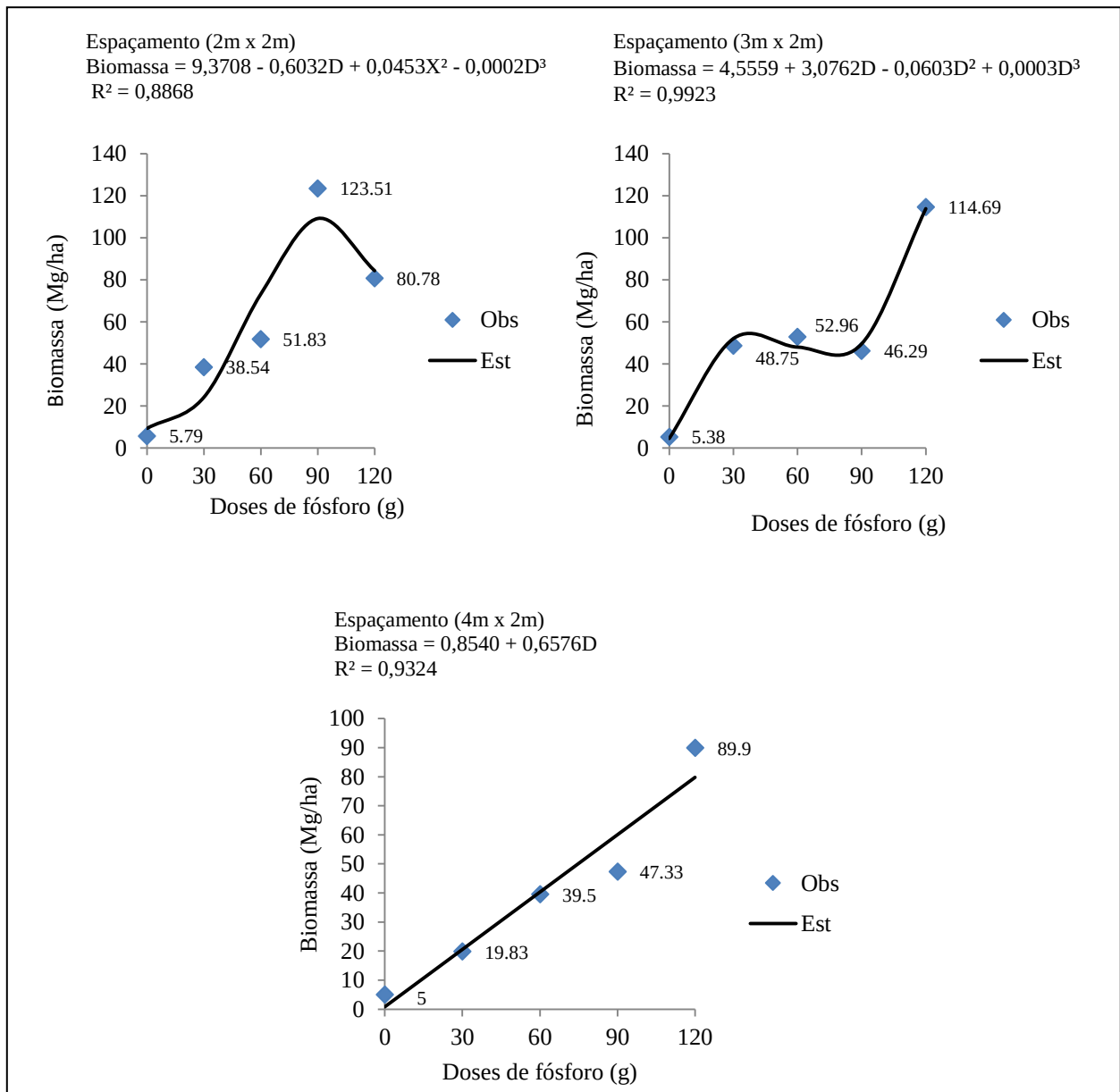


Figura 25 - Regressão da biomassa de *E. urograndis* em função das doses de fósforo por espaçamento.  
 Legenda: Mg = megagrama (1Mg =  $10^6$ g); D = Doses de fósforo.



#### 4.2.6 Fator de empilhamento

Na tabela 25 estão representados os valores de volume de madeira sólido em metro cúbico ( $V \text{ m}^3$ ), volume de madeira empilhada em metro estéreo ( $V \text{ st}$ ), fator de empilhamento (Fe) e o fator de cubicação (Fc) no experimento de *E. urograndis*, calculados pela razão de volumes.

Tabela 25 - Fator de cubicação (Fc) e empilhamento (Fe) obtido pela razão de volumes; onde Desvpad corresponde a desvio padrão e CV ao coeficiente de variação em percentual no plantio de *E. urograndis* aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Espécies            | Parâmetros |                    |            |            |          |        |
|---------------------|------------|--------------------|------------|------------|----------|--------|
|                     | V(st)      | V ( $\text{m}^3$ ) | Fe (médio) | Fc (médio) | Desvpad  | CV (%) |
| <i>E.urograndis</i> | 16,02      | 10,20              | 0,64       | 1,57       | 0,041089 | 6,42   |

Barros (2006), estudando fator de cubicação para madeira de *Eucalyptus grandis*, encontrou valor inicial de 0,61 por razão de volumes, com experimento instalado no inverno, já no verão encontrou o valor médio de 0,69 após 60 dias de instalação. No mesmo estudo o autor descreve que o coeficiente de variação do fator de cubicação obtidos por razão de volumes oscilou de 4,2 a 9,5 %.

De acordo com Finger (1992), estudando fatores de cubicação para *Eucalyptus spp*, distribuídos por classe de diâmetro, encontrou valores médios de 0,65, valor próximo a encontrado neste estudo.

Paula Neto et al. (1993), conduziram estudos sobre fator de empilhamento, ou seja, buscando determinar o volume empilhado a partir do volume de árvores ainda em pé em diferentes classes de diâmetro para *Eucalyptus grandis*, observaram que o fator de empilhamento diminui das menores para as maiores classes. Isto é, nas classes inferiores há maior necessidade de ésteres para ter-se um metro cúbico. Assim encontraram um fator de empilhamento com o valor de 1,33, o que difere daqueles normalmente utilizados na prática (1,43), acarretando um erro de 10%, dessa forma concluíram que não se deve utilizar um fator de empilhamento médio, uma vez que esse fator varia coma classe de DAP.

Em estudos realizados na região de Quarta Colônia de imigração italiana, próximo a Santa Maria - RS, Gatto (2002) encontrou um fator de conversão ( $\text{m}^3/\text{m}^{\text{st}}$ ) de 0,61 para o gênero *Eucalyptus*, diferente do fator médio encontrado por Finger (1992) para a mesma situação com 0,67.

## 4.2.7 Análise da qualidade da madeira para produção de energia

### 4.2.7.1 Densidade

A densidade básica da madeira para *E. urograndis* não foi significativo ( $p>0,05$ ), não houve influência do espaçamento e dosagem de fósforo. Os valores variaram de 0,40 g/cm<sup>3</sup> a 0,47 g/cm<sup>3</sup> como mostra a Tabela 26.

Tabela 26 - Valores médios de Densidade Básica (g/cm<sup>3</sup>) para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo e três espaçamentos, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Dosagem de P (g) | Espaçamento (m) |       |       |
|------------------|-----------------|-------|-------|
|                  | 2 x 2           | 3 x 2 | 4 x 2 |
| 0                | 0,46            | 0,40  | 0,42  |
| 30               | 0,45            | 0,44  | 0,42  |
| 60               | 0,46            | 0,43  | 0,41  |
| 90               | 0,44            | 0,43  | 0,44  |
| 120              | 0,44            | 0,45  | 0,47  |

A variação da densidade ao longo do fuste tem seus valores apresentados na Tabela 27, a densidade básica variou de 0,49 g/cm<sup>3</sup> na base, 0,44 g/cm<sup>3</sup> no meio e 0,44 g/cm<sup>3</sup> no ápice do fuste. O coeficiente de variação está em 10,28%, evidenciando, portanto, a variabilidade dos dados ao longo do fuste.

Tabela 27 - Densidade básica média por árvore e compartimento ao longo do fuste para a madeira de *E. urograndis*, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Espécies             | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) |      |       |       |        |
|----------------------|--------------------------------|------|-------|-------|--------|
|                      | Base                           | Meio | Ápice | Média | CV (%) |
| <i>E. urograndis</i> | 0,49                           | 0,44 | 0,44  | 0,46  | 10,28  |

Oliveira et al. (2005) afirmam em seu estudo que a densidade básica variou de 0,50 g/cm<sup>3</sup> a 0,59 g/cm<sup>3</sup> para *E. urophylla* e 0,46 g/cm<sup>3</sup> a 0,53 g/cm<sup>3</sup> para *E. grandis*, *E. urophylla* apresentou variação de teor de umidade da madeira ligeiramente maior no topo da árvore, com modelo de variação semelhante ao de *E. grandis*, o mesmo acontece com a densidade, Tomazello Filho (1985) encontrou valor de densidade de 0,40 g/cm<sup>3</sup> aos 10 anos para *E. grandis*.

#### 4.2.7.2 Teor de umidade

A interação do teor de umidade da madeira não foi significativo ( $p>0,05$ ), entretanto nos níveis de dosagens, diferenças significativas foram detectadas ( $p<0,05$ ), conforme a Tabela 28, observou-se que as dosagens de 120g e 90g de fósforo são iguais, apresentando os menores teores de umidade, sendo que as demais não diferem entre si estatisticamente.

Tabela 28 - Valores médios de Teor de Umidade (%) para *E. urograndis* com cinco dosagens de fósforo, aos cinco anos de idade. Itacoatiara, 2014<sup>(1)</sup>.

| Dosagem de P (g) | <i>E. urograndis</i> |
|------------------|----------------------|
|                  | Teor de Umidade (%)  |
| 120              | 97,6 a               |
| 90               | 104,40 a             |
| 60               | 105,18 a b           |
| 30               | 106,28 a b           |
| 0                | 106,62 b             |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparação entre doses) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variação do teor de umidade médio e ao longo do fuste tem seus valores apresentados na Tabela 29. Na base do fuste apresentou 104,52% de teor de umidade, 106,39% no meio e 106,67 no ápice da madeira. O coeficiente de variação apresentou o valor de 42,57%, evidenciando, portanto, maior variabilidade dos dados ao longo do fuste.

Tabela 29 - Teores de umidade e densidade básica média por árvore e compartimento para a madeira de *E. urograndis*, aos cinco anos de idade. Itacoatiara - AM, 2014.

| Espécie              | Teor de Umidade (%) |        |        |        |        |
|----------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
|                      | Base                | Meio   | Ápice  | Média  | CV (%) |
| <i>E. urograndis</i> | 104,52              | 106,39 | 106,67 | 105,86 | 42,57  |

Oliveira et al. (2005) estudando a variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de Eucalipto com idade aproximada de 16 anos com espaçamento de 3 x 2m e 3 x 3m, encontrou em seu estudo, elevado teor de umidade com o valor de 102,4% para a árvore 1, 97,4% árvore 2, 92,5% árvore 3, 81,7% árvore 4, 107,5% árvore 5 para *E. urophylla*,

para *E. grandis*, o valor de teor de umidade variou de 106,9% na árvore 1, 92,0% árvore 2, 107,5% árvore 3, 105,5% árvore 4 e 98,6% árvore 5.

#### 4.2.8 Modelos ajustados para biomassa acima do solo

Comparando as medidas de precisão, notou-se que as equações se ajustaram bem aos dados observados, contudo o modelo de Husch (modelo 4) apresentou-se ligeiramente superior (Tabela 30), com apenas uma variável independente, apresentando o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) com o valor de 94,49% e erro-padrão da estimativa (Syx) com 0,27%. Os resíduos do modelo de Husch ficaram mais homoganeamente distribuídos e com menor amplitude (Figura 26).

Tabela 30 - Estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais ajustados e medidas de precisão para estimar biomassa acima do solo de *E. urograndis*, aos cinco anos de idade, Itacoatiara - AM, 2014.

| Modelos | Equação                                | Parâmetros do modelo |           |           | F        | Medidas de precisão |         |
|---------|----------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|---------|
|         |                                        | $\beta_0$            | $\beta_1$ | $\beta_2$ |          | $R^2_{ajust}$ (%)   | Syx (%) |
| 1       | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2$           | -28,37310            | 6,307300  | -         | 711,50*  | 79,88               | 11,54   |
| 2       | $Ps = \beta_0 d + \beta_1 d^2$         | -1,694740            | 0,459070  | -         | 1882,00* | 95,24               | 8,52    |
| 3       | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1}$             | 0,068690             | 2,605770  | -         | 2939,55* | 89,64               | 8,30    |
| 4       | $LnPs = \beta_0 + \beta_1 Ln d$        | -2,252810            | 2,419040  | -         | 3072,10* | 94,49               | 0,27    |
| 5       | $Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$         | 1,949977             | 0,021317  | -         | 1869,00* | 91,26               | 7,60    |
| 6       | $Ps = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ | 0,037877             | 2,104672  | 0,702745  | 1019,50* | 91,39               | 7,59    |
| 7       | $LnPs = \beta_0 + \beta_1 Ln (d^2 h)$  | -2,449110            | 0,817110  | -         | 3542,00* | 95,19               | 0,26    |
| 8       | $Ps = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$       | 0,069357             | 0,017508  | -         | 1516,06* | 91,39               | 7,56    |

Legenda: Ps = Biomassa seca;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Parâmetros do modelo; Ln = Logaritmo neperiano; d = Diâmetro à altura do peito; h = Altura total;  $R^2_{ajust}$  = Coeficiente de determinação ajustado e Syx = Erro-padrão da estimativa; \* = Significativo a 5% pelo teste F.

Brianezi et al. (2013) estudando equações alométricas para estimativa de carbono, entre os modelos avaliados para estimar o carbono total em árvores pertencentes à arborização do *campus*-sede da UFV, o de Schumacher e Hall (1933) foi o que se ajustou melhor aos dados com  $R^2_{ajust}$  de 82,67% e Syx de 58,88 e apresentou melhor distribuição dos resíduos em relação ao modelo de Spurr (1952) modificado. Além disso, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos, considerando  $p < 0,05$ .

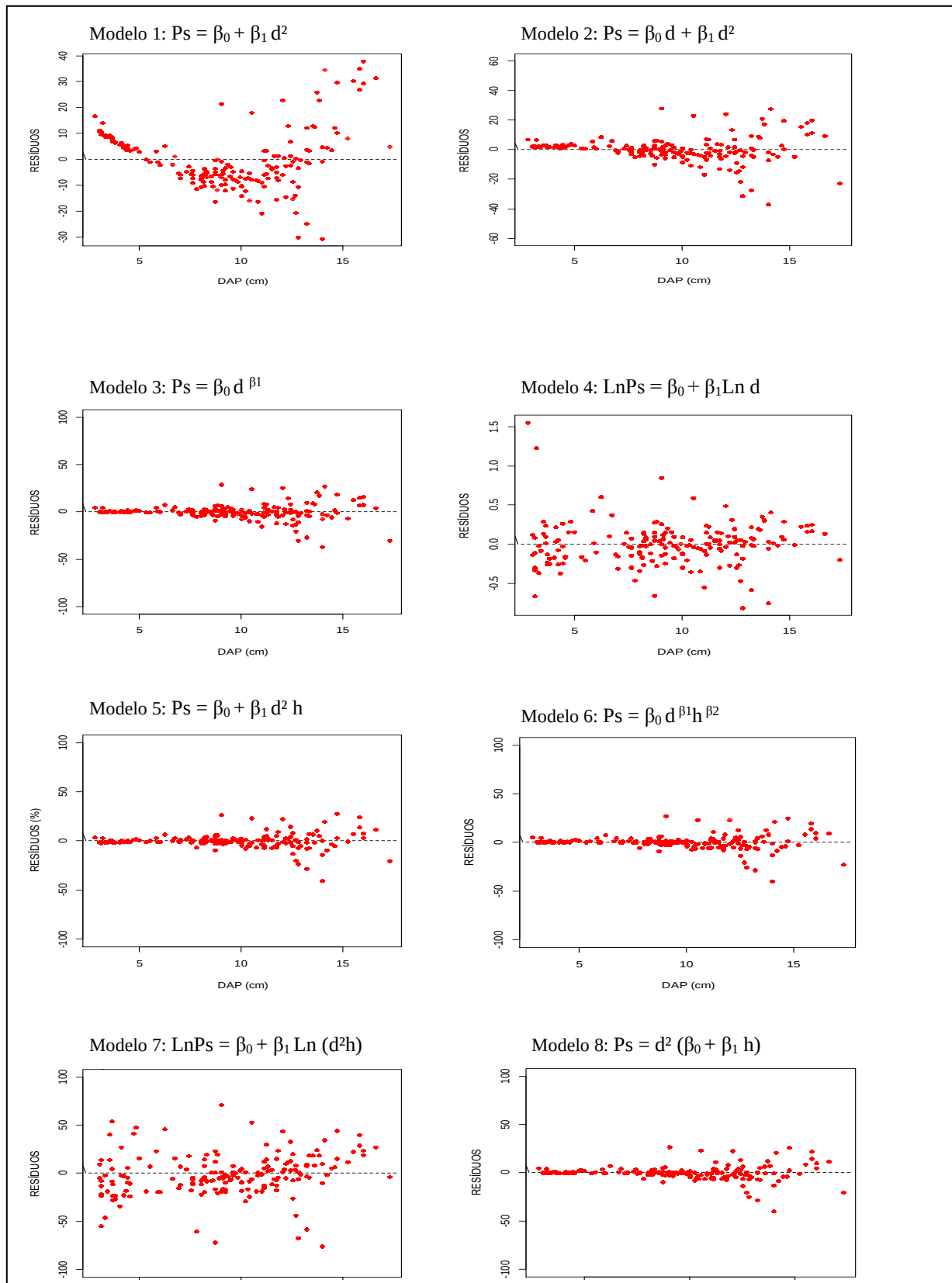


Figura 26 - Resíduos das equações de biomassa para *E. urograndis*, Itacoatiara - AM, 2014.

#### 4.3 POTENCIAL ENERGÉTICO DA MADEIRA DE *S.paniculatum* e *E. urograndis*.

Na tabela 31, apresentamos o Teste t de Student para densidade e poder calorífico de *S. paniculatum* e *E. urograndis*. Observou-se de acordo com os resultados obtidos que o contraste foi significativo para a densidade básica e poder calorífico ( $p < 0,05$ ), entretanto para a densidade, as duas espécies não foram propícias, já para o poder calorífico, observou-se que o valor real foi superiores que o valor de referência, o que torna as espécies de *S. paniculatum* e *E. urograndis* propícia para produção de energia.

Tabela 31 - Teste t de Student para densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) e poder calorífico superior (PCS kcal/kg) de *S. paniculatum* e *E. urograndis*. (Valor de referência para densidade =  $0,65 \text{ g/cm}^3$  - Valor de referência para o poder calorífico =  $4.200 \text{ kcal/kg}$ ).

| Espécies              | Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) |        |   | PCS (kcal/kg) |       |   |
|-----------------------|-------------------------------|--------|---|---------------|-------|---|
|                       | Média                         | Tcal   | P | Média         | Tcal  | P |
| <i>S. paniculatum</i> | 0,61                          | 3,16*  | N | 4280          | 3,12* | P |
| <i>E. urograndis</i>  | 0,46                          | 12,69* | N | 4379          | 8,58* | P |

Legenda: N = Não propícia; P = Propícia e Tcal = Valor de t calculado.

Resultados semelhantes a este estudo foi encontrado por Quirino et al. (2004), avaliando o poder calorífico de algumas espécies florestais, entre elas alguns eucaliptos, obtiveram como valor médio para *Eucalyptus urophylla*  $4.499 \text{ kcal/kg}$ . Resultados semelhantes também foram obtidos por Santos et al. (2011), que estudaram quatro clones híbridos de *Eucalyptus* sp., aos 7 anos, e obtiveram valores que variaram de  $4.274$  a  $4.585 \text{ kcal/kg}$ . Castro (2011) avaliou três clones de *Eucalyptus* spp. com idades de 3, 4, 5 e 7 anos, obtendo valores que variaram de  $4.480$  a  $4.4719 \text{ kcal/kg}$ . Souza e Lima (2012) estudando *S. paniculatum* encontrou o valor de  $4.414 \text{ kcal/kg}$ , que mostrou-se semelhante com o de Vale (2000), que foi de  $4.849 \text{ kcal/kg}$ .

## 5 CONCLUSÕES

### *S. paniculatum*

- Não houve influência do fator espaçamento, do fator dosagem de fósforo e nem da interação no crescimento em diâmetro, altura e produção em volume das espécies. A dosagem de fósforo influenciou significativamente a produção de biomassa;
- Considerando todos os espaçamentos, o modelo quadrático do volume em função da dosagem ( $V = 72,4186 + 1,2225D - 0,0076D^2 - R^2 = 0,9484$ ) foi o que melhor se ajustou aos dados com ponto de máxima  $P = (73,85g, 113,87 \text{ m}^3/\text{ha})$ ;
- O espaçamento 2m x 2m foi o único que apresentou regressão significativa do volume em função da dosagem ( $V = 86,5475 + 1,9047D - 0,0142D^2 - R^2 = 0,9991$ ) com ponto de máxima  $P = (60,07g, 149,72 \text{ m}^3/\text{ha})$ ;
- Os valores de biomassa dos compartimentos da planta foi maior no fuste (25,64 kg) e o teor de água foi superior nas folhas (50,59 %). A biomassa apresentou resultado significativo somente para o fator dosagem. Com as doses de 90g (85,56 Mg/ha) e 60g (81,96 Mg/ha) superior às demais e iguais pelo teste de Tukey;
- Considerando todos os espaçamentos o modelo que melhor se ajustou aos dados de biomassa em função da dosagem foi  $\text{Biom} = 46,6273 + 0,9839D - 0,0065D^2 - R^2 = 0,9676$ , com ponto de máxima  $P = (75,68g, 86,83\text{Mg}/\text{ha})$ . Só houve regressão para biomassa no espaçamento 2m x 2m,  $\text{Biom} = 49,6725 + 1,8226D - 0,0137D^2 - R^2 = 0,9804$ , com ponto de máxima produção de biomassa  $P = (66,45g, 110,16 \text{ Mg}/\text{ha})$ ;
- O fator de empilhamento foi de 0,63, a densidade básica média foi de  $0,61\text{g}/\text{cm}^3$  e o teor de umidade de 80,54 %;
- O melhor modelo ajustado para biomassa acima do solo foi dado pela equação  $P_s = -0,091850d + 0,424990d^2$ , com  $R^2$  ajustado de 94,28 % e Syx de 11,13 %;
- Com base no poder calorífico a madeira da espécie *S. paniculatum* foi considerado propícia para a produção de energia;

### *E. urograndis*

- A dosagem de fósforo influenciou significativamente a taxa de mortalidade, o crescimento em altura, diâmetro e na produção em volume;

- Considerando todos os espaçamentos, a relação entre o volume e a dosagem de fósforo é linear,  $V = 18,5657 + 1,3367D$ ,  $R^2 = 0,9768$ ;
- Houve regressão entre o volume e a dosagem de fósforo para os três espaçamentos testados. Espaçamento 2m x 2m, equação cúbica ( $V = 19,3309 - 1,5248D + 0,0937D^2 - 0,0005D^3$  -  $R^2 = 0,8808$ ), espaçamento 3m x 3m, equação linear ( $V = 15,1966 + 1,4386D$  -  $R^2 = 0,9203$ ) e espaçamento 4m x 2m, equação linear ( $V = 18,5773 + 0,9917D$  -  $R^2 = 0,9059$ );
- Os valores de biomassa dos compartimentos da planta foi maior no fuste (25,14 kg) e o teor de água foi superior no fuste (55,99 %);
- A Interação do fator dosagem de fósforo e espaçamento foi significativo, assim, no espaçamento 2 x 2m as doses de 90g e 120g não diferem e se mostram eficientes;
- A Interação do fator dosagem de fósforo e espaçamento foi significativo. A interação do espaçamento 2m x 2m, com as doses de 90g e 120g foi superior. A interação dos espaçamentos 3m x 2m, com a dose de 120g foi superior e na interação do espaçamento 4m x 2m, com as doses de 60g, 90g e 120g foram superiores;
- Considerando todos os espaçamentos o modelo que mais se ajustou aos dados de biomassa em função da dosagem foi  $Biom = 8,1120 + 0,7204D$  -  $R^2 = 0,9885$ ;
- Houve regressão entre a biomassa e a dosagem de fósforo para os três espaçamentos testados. Espaçamento 2m x 2m, equação cúbica ( $Biom = 9,3708 - 0,6032D + 0,0453D^2 - 0,0002D^3$  -  $R^2 = 0,8868$ ), espaçamento 3m x 2m, equação cúbica ( $Biom = 4,5559 + 3,0762D - 0,0603D^2 + 0,0003D^3$  -  $R^2 = 0,9923$ ) e espaçamento 4m x 2m, equação linear ( $Biomassa = 0,8540 + 0,6576D$  -  $R^2 = 0,9324$ );
- O fator de empilhamento foi de 0,64, a densidade básica média foi de 0,46g/cm<sup>3</sup>;
- O teor de umidade apresentou resultado significativo somente para o fator dosagem. Com as doses de 120g (97,60 %) e 90g (104,40 %) superior as demais e iguais pelo teste de Tukey;
- O melhor modelo ajustado para biomassa acima do solo foi dado pela equação  $LnPs = -2,252810 + 2,419040Lnd$ , com  $R^2$  ajustado de 94,49 % e  $Syx$  de 4,76 %;
- Com base no poder calorífico a madeira da espécie *E. urograndis* foi considerado propícia para a produção de energia.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E.B. **Desmatamento, solos e agricultura na Amazônia Legal**. In: Brasil, MMA (Ed.). Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia. Brasília: MMA, p. 235-257, 2001.

ANDRADE, B. S.; HAY, J. D. Estimation of aerial biomass of *Lychnophora ericoides* (Mart.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 50, n. 4, July, 2007.

ARCO-VERDE, M. F; SCHWENGBER, D.R. Avaliação silvicultural de espécies florestais no estado de Roraima. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**. Curitiba, v.1, n.3, p.59-63, 2003.

ASSIS, M.R. de; PROTÁSIO, T.P.; ASSIS, C.O. de; 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 Brasileiro**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, jul./set. 2012.

BARROS, M.V. Fator de cubicação de madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maidem, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 80 p., 2006.

BARROS, N. FÉLIX; NOVAIS, R. F. **Relação Solo – Eucalipto**. Viçosa: Ed Folha de Viçosa, 1990.

BATISTA, S.A.C. **Avaliação do desenvolvimento do clone de *Eucalyptus urograndis* sob diferentes espaçamentos e adubação com fósforo (p) em plantio experimental no Município de Itacoatiara - AM**. Monografia (Engenharia Florestal) - Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 61p., 2009.

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L.A.G.; SOARES, C.P.B.; CASTRO, R.V.O.; BASSO, V.M. **Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em viçosa-MG**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1073-1081, 2013.

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*)**. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 10 p., 1983. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8).

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

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

EMBRAPA. 1999. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. 370pp.

GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. ed. 1. Piracicaba: IPEF, 2000.

HIGUCHI, M.I.G.; HIGUCHI, N. **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental**. Manaus, 2 ed. 424p, 2012.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. **In: EMISSÃO × sequestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994. p. 125-153.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite: projeto PRODES**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em: 7 Jul. 2013.

JANKOWSKY, I.P., 1985. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. **IPEF**, Piracicaba,(31): 41-6.

KAMASHIRO, M.; YARED, J.A.G. **Espécies nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós, Pará**. Belém, 1988.

KROGH, G. N. E. **Tecnologia para queimar madeira**. O Papel. v. 40, n. 11, p. 105-108, 1979.

LEAO, R.M. **A floresta e o homem**. São Paulo: EDUSP/IPEF, 2000.

LIMA, R.M.B. de. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 194 p., 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2. ed. , 384 p., 2002.

MAGALHÃES, W. M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**. Lavras. v.12, n. 2. 2006. Disponível: [www.if.ufrj.br/revista/pdf/Vol12%20no2%2001A07.pdf](http://www.if.ufrj.br/revista/pdf/Vol12%20no2%2001A07.pdf)>. Acesso em 04 Ago. 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas** princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba Potafos, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, 2006, p. 396-401.

MOCHIUTTI, S. et al. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*): leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. Macapá: Embrapa Amapá, 5 p., 1999. (Embrapa Amapá. Comunicado Técnico, 28).

MUELLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa 2005.

NETO, S. N. O. et al. **Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento**. Revista Árvore. n. 1, Viçosa v.27, jan/fev. 2003.

OLIVEIRA, I.R.M.; VALE, A.T.; MELO, J.T.; COSTA, A.F.; GONÇALEZ, J.C. Biomassa e característica da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne, Lavras**, v. 14, n. 4, p. 351-357, out./dez. 2008.

PAULA, R.N. Ferramentas e estratégias melhoram eucalipto. **Revista da Madeira**. Ano 15, n.88, p. 102-108, 2005

PAULA NETO, F.; REZENDE, A.V.; CAMPOS, J.C.C.; REZENDE, J.L.P. **Análise do comportamento dos fatores de empilhamento para *Eucalyptus grandis***. Revista Árvore, v.17, n.1 Viçosa, 1993. 45-59p.

PEREIRA, M. R. R.; et al. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**. Botucatu, v.11, n. 4, p. 518 - 531, 2006.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potássio e do Fosfato, 1991. 343p

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA C. R. et al. (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, Curitiba: 1996. 49 p. (Série Didática, n. 8).

SCOLFORO, J.R. **Biometria florestal 1: medição e volumetria de árvores**. Lavras, UFLA/FAEPE, 310p, 1998.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed.rev.ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, J.C.; CASTRO, R.V. de; XAVIER, B.A. **Eucalipto, manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade**. Viçosa: UFV, 2008.

SOUZA, C.R.; LIMA, R.M.B.; AZEVEDO, C.P.; ROSSI, L.M.B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 7-14, mar. 2008.

SOUZA, L. A.; LIMA, R.M.B. **Avaliação da adaptabilidade e produtividade de Taxí-Branco (*Sclerolobium paniculatum*) na região de Manaus e Iranduba, Amazonas.** Anais da IX jornada de iniciação científica da Embrapa Amazônia Ocidental. p. 69-77, dezembro, 2012.

TOMASELLI, I. et al. **Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) para energia.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 6/7, p. 33-44, Jun./Dez. 1983.

TONINI, H.; et al. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p.8-18,2006.

TRUGILHO, P.F.; et al. Influência da idade nas características do eucalipto. **Revista da Madeira**. Ano 15, n.92, p. 82-88, 2005.

URBANO, E. **Estimativa da biomassa aérea e do peso de carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** 84 f. 39. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A.A. Produção de energia de fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, V.6, N.1, pag.83-88, 2000.

VEGA, F.V.A. *et al.* Relações alométricas para estimativa da fitomassa aérea em pupunheira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 104-108, jan./mar., 2004.

VELOSO, H.P.; A.L. FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 124p, 1991.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim técnico**. Viçosa, n. 1, 198p

