

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

**EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NA BIOMASSA DO FUSTE  
DE UM CLONE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE *Eucalyptus grandis* e  
*Eucalyptus urophylla***

**MARIA DOLORES DOS SANTOS**

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

BOTUCATU – SP  
Setembro - 2011

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

**EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NA BIOMASSA DO FUSTE  
DE UM CLONE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE *Eucalyptus grandis* e  
*Eucalyptus urophylla***

**MARIA DOLORES DOS SANTOS**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Co-orientador: Luiz Alberto Blanco Jorge

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

BOTUCATU – SP  
Setembro - 2011

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

S237e Santos, Maria Dolores dos, 1986-  
Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* / Maria Dolores dos Santos. - Botucatu : [s.n.], 2011  
xi, 140 f. : gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011  
Orientador: Adriano Wagner Ballarin  
Co-orientador: Luiz Alberto Blanco Jorge  
Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Clonagem. 3. Clone de *Eucalyptus*. 4. Espaçamento - Eucalipto. 5. Incremento anual em diâmetro. 6. Troncos (Botânica). I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Jorge, Luiz Alberto Blanco. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

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

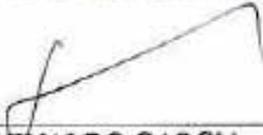
TÍTULO: "EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO NA BIOMASSA DO FUSTE  
DE UM CLONE HÍBRIDO INTERESPECÍFICO DE *Eucalyptus grandis* E  
*Eucalyptus urophylla*"

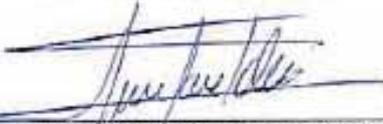
ALUNA: MARIA DOLORES DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN  
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ ALBERTO BLANCO JORGE

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOSÉ NIVALDO GARCIA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA

Data da Realização: 25 de agosto de 2011.

*“Ele tem cuidado de vós...”*

*I Pe 5, 7b.*

*A Nossa Senhora, que me ensinou a descobrir Deus no silêncio.....*

*Meus espetaculares irmãos, Junior e André... sem eles nada disso seria possível...*

*Meus pais, Maria Cristina e Luiz, que são o aconchego do meu coração...*

*Ao meu Anjo, Adisnei, pelo amor e apoio incondicional.*

*Dedico*

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1. O <i>Eucalyptus</i> no Brasil .....	8
2.2. Melhoramento genético do <i>Eucalyptus</i> no Brasil .....	10
2.3. Espaçamento de plantio e suas influências na cultura do <i>Eucalyptus</i> .....	12
2.3.1. Influência na densidade básica da madeira .....	14
2.3.2. Influência na produção de casca.....	17
2.3.3. Influência no ritmo de crescimento e na produtividade.....	19
2.3.4. Influência na produção de biomassa do fuste .....	21
2.4. Delineamento sistemático no estudo de espaçamentos em plantios .....	24
2.4.1. Delineamento sistemático com fator quantitativo contínuo.....	26
2.4.2. Métodos de análise .....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Local de implantação e características do ensaio.....	30

3.2. Avaliações dendrométricas dos 36 aos 72 meses de idade.....	34
3.3. Avaliações do volume e densidade básica da madeira aos 72 meses de idade.....	36
3.4. Análise estatística.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Crescimento do plantio de 36 a 72 meses de idade.....	47
4.1.1. Variações em diâmetro.....	47
4.1.2. Distribuição dos diâmetros.....	52
4.1.3. Variações em altura.....	61
4.1.4. Área basal do povoamento.....	65
4.2. Plantio aos 72 meses de idade.....	68
4.2.1. Variações em diâmetro.....	68
4.2.2. Variações em altura.....	71
4.2.3. Variações em área basal.....	75
4.3. Volume do plantio aos 72 meses de idade por árvore e por hectare.....	76
4.4. Densidade básica ponderada da madeira aos 72 meses de idade.....	81
4.5. Percentual de casca por árvore aos 72 meses de idade.....	83
4.6. Estimativa da biomassa do fuste por árvore e por hectare aos 72 meses.....	86
4.7. Análise conjunta de algumas variáveis aos 72 meses de idade.....	90
5. CONCLUSÕES.....	93
6. REFERÊNCIAS.....	95
7. APÊNDICE.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa do consumo específico de madeira.....	15
Tabela 2 – Variação da densidade básica em dois espaçamentos em espécies de <i>Eucalyptus</i> .	16
Tabela 3 – Densidade básica e massa seca da casca e madeira em função dos espaçamentos .	18
Tabela 4 – Volume de madeira (com e sem casca), densidade básica e casca das árvores das sete espécies de <i>Eucalyptus</i> .....	23
Tabela 5 – Equações ajustadas para estimar a densidade básica e a massa seca de madeira em função do espaçamento entre linhas e entre árvores.....	24
Tabela 6 - Tratamentos utilizados no experimento.....	33
Tabela 7 – Lotação por hectare nos tratamentos .....	38
Tabela 8 - Modelos de resposta ao espaçamento, testados para as variáveis: DAP, altura, volume individual, densidade básica da madeira e biomassa do fuste da árvore...	43
Tabela 9 - Modelos ajustados para os dados que apresentam resposta inversa ao aumento do espaçamento: volume por hectare, biomassa do fuste por hectare e percentual de casca .....	44
Tabela 10 – Árvores eliminadas da análise experimental devido à falha ou morte, sua ou de árvores vizinhas, à bifurcação e árvores sorteadas para padronizar em 32 o número total de árvores por tratamento .....	46
Tabela 11 - Resultados estatísticos para o DAP ao longo do tempo .....	47
Tabela 12 – Evolução do DAP ao longo do tempo para os tratamentos.....	50
Tabela 13 – Classes e amplitude do diâmetro médio das árvores nos tratamentos avaliados ao longo do tempo .....	53
Tabela 14 – Resultados estatísticos para a altura das árvores ao longo do tempo .....	61
Tabela 17 - Evolução da altura das árvores ao longo do tempo para cada tratamento .....	64
Tabela 18 - Evolução da área basal ao longo do tempo para cada tratamento.....	66
Tabela 19 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para o diâmetro das 512 árvores medidas aos 72 meses.....	69

Tabela 20 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para a altura das 512 árvores medidas aos 72 meses .....	73
Tabela 21 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para o volume por árvore das 48 árvores medidas aos 72 meses .....	77
Tabela 22 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para o volume por hectare das 48 árvores medidas aos 72 meses .....	77
Tabela 23 – Coeficientes e estatísticas das cinco equações ajustadas para densidade básica da madeira com casca por árvore das 48 árvores amostradas aos 72 meses .....	81
Tabela 24 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para o percentual de casca das árvores para as 48 árvores amostradas aos 72 meses .....	84
Tabela 25 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para a biomassa do fuste por árvore para as 48 árvores amostradas aos 72 meses .....	86
Tabela 26 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para a biomassa do fuste por hectare para as 48 árvores amostradas aos 72 meses.....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Densidade básica (com casca) da madeira em função do incremento médio anual de volume verde com casca de tratamentos do reflorestamento .....	11
Figura 2 – Variação radial da densidade básica (DB) com o tipo de crescimento para <i>Eucalyptus grandis</i> aos 8,5 anos de idade.....	21
Figura 3 – Croqui de instalação do experimento sistemático tipo leque, proposto por Nelder	27
Figura 4 – Distribuição geográfica dos ensaios de espaçamento instalados pela empresa Duraflora S.A. ....	31
Figura 5 – Croqui de instalação do experimento sistemático com fator quantitativo contínuo.....	33
Figura 6 – Divisão das seções do fuste e amostragem dos discos .....	39
Figura 7 – Identificação dos discos e acondicionamento das amostras .....	40
Figura 8 – Retirada da casca, fixação do disco no suporte seguido da imersão em água .....	41
Figura 9 – Diâmetro médio com casca das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo ....	51
Figura 10 – Incremento médio mensal ( IMM ) do DAP das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo .....	51
Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo.....	55
Figura 12 – Altura média das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo.....	64
Figura 13 – Incremento médio mensal (IMM) da altura das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo.....	65
Figura 14 – Área basal (AB) por hectare nos espaçamentos ao longo do tempo .....	66
Figura 15 – Incremento médio mensal ( IMM ) em área basal ( AB ) por hectare nos espaçamentos ao longo do tempo .....	67
Figura 16 – Variação do diâmetro médio com casca nos espaçamentos aos 72 meses de idade.....	68
Figura 17 – Diâmetro à altura do peito (DAP) aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado .....	69

Figura 18 – Distribuição dos resíduos do Modelo de Von Bertalanffy para a variável DAP em função do espaçamento, aos 72 meses.....	70
Figura 19 – Altura média com casca das árvores nos espaçamentos aos 72 meses de idade...	71
Figura 20 – Altura dominante (Hdom) das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo.....	73
Figura 21 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Brody ajustado .....	74
Figura 22 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Brody, aos 72 meses .....	74
Figura 23 – Variação da área basal (AB) dos espaçamentos aos 72 meses de idade .....	75
Figura 24 – Volume médio por árvore nos espaçamentos aos 72 meses de idade .....	76
Figura 25 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado .....	78
Figura 26 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses.....	79
Figura 27 – Volume por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado .....	79
Figura 28 – Distribuição dos resíduos para volume por hectare em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico, aos 72 meses .....	80
Figura 29 – Densidade básica da madeira com casca (Db cc) aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado .....	82
Figura 30 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira com casca (Db cc) em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Von Bertalanffy, aos 72 meses.....	82
Figura 31– Percentual de volume de casca por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado ....	84
Figura 32 – Distribuição dos resíduos para o percentual do volume de casca por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico, aos 72 meses..	85
Figura 33 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado ..	87

Figura 34 – Distribuição dos resíduos para a biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses.....	88
Figura 35 – Biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado .....	89
Figura 36 – Distribuição dos resíduos para a biomassa do fuste por hectare em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico aos 72 meses.....	89
Figura 37 – DAP e biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica das variáveis analisadas .....	91
Figura 38 – Densidade básica da madeira com casca e biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica das variáveis analisadas.....	92

## RESUMO

O uso de florestas de *Eucalyptus* tem se tornado cada vez mais expressivo no Brasil, sobretudo por conta da excelente produção em termos volumétricos por elas alcançada e pelas boas características da madeira obtida. Várias empresas do setor florestal estão em busca do aumento da produção de madeira por unidade de área, tentando identificar, nos regimes de manejo, a técnica que agrega mais fortemente qualidade ao produto final por eles gerado. Neste contexto, o presente trabalho foi desenvolvido buscando a identificação dos melhores espaçamentos de plantio para florestas clonais de um híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, de forma a maximizar a produção de biomassa do fuste por hectare, e como objetivos complementares analisar a influência do espaçamento de plantio no incremento anual em diâmetro, altura, área basal ao longo da idade, volume por árvore e por hectare, além do percentual de casca das árvores e densidade básica da madeira no último ano. Os dados foram disponibilizados pela empresa Duraflora S.A. e são provenientes de um teste clonal exploratório que visa o aumento da produtividade e melhoria da qualidade da matéria prima através do estudo de espaçamentos. O delineamento estatístico utilizado foi o sistemático com fator quantitativo contínuo, com 16 tratamentos e 40 repetições, considerando que a variação entre os tratamentos foi o espaçamento entre as árvores e a entrelinha possuía um espaçamento constante de três metros. Com este arranjo, o experimento possuiu espaçamentos variando de 1,50m<sup>2</sup> de área vital por árvore (6.667 árvores por hectare) até 15,75m<sup>2</sup> de área vital árvore (635 árvores por hectare). A altura e o diâmetro à altura do peito -

DAP foram medidos aos 36, 48, 60 e 72 meses de idade, e somente no último ano foram cubadas três árvores por tratamento para determinação do volume por árvore e densidade básica da madeira, sendo estas variáveis utilizadas para estimativa da biomassa do fuste por hectare. Os dados analisados de crescimento do plantio em diâmetro, área basal e altura dos 36 aos 72 meses permitiram concluir que com o aumento do espaçamento de plantio, maior foi o crescimento em diâmetro e altura das árvores, apresentando a mesma tendência nas duas variáveis, porém, a altura menos intensamente. A evolução da área basal - AB do povoamento ao longo dos anos retrata que os espaçamentos adensados apresentaram os maiores resultados em AB em função da maior frequência de indivíduos por hectare. Para as variáveis analisadas aos 72 meses, densidade básica da madeira e volume por árvore, foi constatado que nos espaçamentos amplos houve maior produção volumétrica por árvore em função da maior área vital disponível para seu desenvolvimento; em adicional foi constatado também que árvores de maiores diâmetros possuem um menor percentual de casca do que nos espaçamentos adensados. A partir destes resultados, a escolha dos melhores espaçamentos de plantio foi estabelecida de forma que a produção de biomassa do fuste por hectare fosse maximizada, em um intervalo onde a área vital por planta favorecesse o crescimento em diâmetro e a formação de madeira de maior densidade básica, variando assim de 3,30m<sup>2</sup> a 4,95m<sup>2</sup> por árvore, que corresponde aos espaçamentos de 3x1,10m, 3x1,35m e 3x1,65m.

---

**Palavras-chave:** Espaçamento de plantio, clone de *Eucalyptus*, biomassa do fuste, incremento anual em diâmetro.

EFFECT OF THE PLANTATION SPACING IN THE STEM BIOMASS OF A HYBRID CLONE INTERSPECIFIC OF *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*. Botucatu, 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.  
Author: MARIA DOLORES DOS SANTOS  
Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN  
Co-adviser: LUIZ ALBERTO BLANCO JORGE

## SUMMARY

The use of forests of *Eucalyptus* has become each time more expressive in Brazil, over all on account of the excellent production in volumetric terms for them reached and the good characteristics of the gotten wood. Some companies of the forest sector are in search of the increase of the wooden production for unit of area, trying to identify, in regimes of handling, the technique that strong adds more quality to the end item for them generated. In this context, the present work was developed to search the bests plantations spacing for clonal forests of a interspecific hybrid of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*, to maximize the production of the stem biomass per hectare, and as a complementary objective to analyze the influence of the plantation spacing in the annual increment in diameter, height, stem volume and volume per hectare, basal area throughout the age, beyond the percentage of bark of the trees and basic density of the wood in the last year. The data came from the Duraflora Company and are proceeding from a clonal test exploration that aims at the increase of the productivity and improvement of the quality of the substance cousin through the study of plantations spacing. The used statistical delineation was the systematic with continuous quantitative factor, 16 treatments and 40 repetitions, considering that the variation between the treatments was only the spacing between the trees and the space between lines was a constant of 3 meters. With this arrangement, the vital area for tree was about 1,50m<sup>2</sup> (6,667 trees per hectare) until 15,75m<sup>2</sup> (635 trees per hectare). The trees height and the diameter breast height - DBH had been measured to the age of 36, 48, 60 and 72 months, and only in the last year three trees of each treatment had been sampled to determinate the individual tree volume and the wood basic density, so the stem biomass was estimated per hectare. The analyzed data of growth of the plantation in diameter, basal area and height of the 36 to the 72 months allowed to conclude that the increase of the plantation spacing, increase too the diameter and height of the trees, presenting the same trend in the two variables, however, the height less intensely. The evolution of the basal area - BA of the forest along the years portraits that the accumulated plantation spacing had presented the greater results in BA, due to the biggest

frequency of individuals per hectare. The density and stem volume was analyzed on the 72 months, and it was evidenced that in the ample plantations spacing it had greater volumetric production per tree in function of the biggest available vital area for its development; It was also evidenced that trees with the greater diameters had less bark that the accumulated plantations spacing, where exists a bigger frequency of lesser trees, as much in diameter how much in height. From these results, the choice of the best plantations spacing was established of form that the stem biomass production per hectare was maximized in an interval where the vital area for plant favored the growth in diameter and the wooden formation of the bigger basic density, thus varying of 3,30m<sup>2</sup> 4,95m<sup>2</sup> per tree, that corresponds to the 3x1,10m, 3x1,35m and 3x1,65m plantations spacing.

---

**Keywords:** Plantations spacing, *Eucalyptus' clone*, stem biomass, annual increment in diameter.

## 1. INTRODUÇÃO

A área florestal sempre teve como objetivo a formação e condução de florestas produtivas e com alto valor tecnológico. Apesar da crescente preocupação com os aspectos ligados à qualidade da madeira – notadamente nas florestas de abastecimento das indústrias de transformação – a produtividade dos plantios sempre se destacou como mais importante objetivo. Neste sentido, os estudos que envolvem as características específicas da madeira para atender a um determinado produto também merecem atenção especial, já que a qualidade do produto final depende da matéria prima empregada. A área florestal deve trabalhar de forma harmoniosa à industrial, com o objetivo principal de formar florestas com alto valor tecnológico e cada vez mais produtivas.

Na busca deste intento, é interessante que as práticas silviculturais e as técnicas de manejo da floresta estejam aliadas a uma ou mais estratégias de melhoramento florestal, para prover materiais genéticos diversificados e obter povoamentos regulares e produtivos, que satisfaçam economicamente as condições de implantação e colheita.

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento exerce um dos papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, uma vez que pode influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como práticas de implantação, manejo e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Muito embora seja fato conhecido que, na produção de madeira de pequenas dimensões, em ciclos curtos, os espaçamentos reduzidos proporcionam maior rendimento volumétrico por unidade de área que os espaçamentos mais amplos, o fato em si tem outras implicações (COELHO et al., 1970). A tendência atual para espaçamentos maiores visa à produção de menor volume total de madeira, mas de melhor qualidade, baseada em diâmetros maiores, que geram, normalmente, lucros financeiros maiores (BERGER, 2000).

Em florestas de ciclo curto o espaçamento pode afetar direta e rapidamente a qualidade da madeira produzida. Vários autores, estudando a influência do espaçamento na produção de madeira afirmam que, em espaçamentos mais amplos, as dimensões mais apropriadas para as indústrias são alcançadas mais rapidamente, pois povoamentos com menor número de árvores por hectare geram árvores com maior volume individual. Já os plantios realizados em espaçamentos reduzidos se destacam pela alta produção volumétrica por hectare em menor tempo, mesmo com um volume individual menor em função dos menores diâmetros. O maior adensamento de árvores por hectare permite também que os plantios de reposição sejam desnecessários, devido ao número elevado de plantas; rápidos rendimentos financeiros provenientes de desbastes, galhos menores e uma menor conicidade de fuste e rápido fechamento do dossel, reduzindo o surgimento de plantas invasoras.

Muitos autores na década de 70 e 80 estudaram os efeitos do espaçamento de plantio em procedências de *Pinus* e *Eucalyptus*, buscando identificar a interação genótipo - espaçamento nas características de sobrevivência, altura, diâmetro, forma do tronco e hábito de ramificação. Uma das grandes dificuldades encontradas pelos autores era que as interações estatisticamente significativas ocorriam ao nível de genótipo, e não a diferentes espaçamentos, como esperado. Mesmo em trabalhos onde se buscava detectar a ocorrência de interações competitivas entre procedências nos diferentes espaçamentos, os autores encontravam interações entre o espaçamento e o grau de variação genética, mas, para o caso de interação genótipo - espaçamento não era detectado nenhum grau de significância. Esta dificuldade de identificar a interação com o espaçamento ocorre em função dos ensaios serem implantados a partir de sementes, de polinização livre ou controlada, que geram indivíduos com características tecnológicas desconhecidas para o melhorista florestal.

Estudos com a finalidade de observar o comportamento do crescimento em florestas clonais, que apresentam um desenvolvimento em diâmetro e altura mais homogêneo, tornam-se de grande importância, visto que o conhecimento destas características é uma necessidade, quando o interesse for a determinação da utilidade da madeira. Conhecer e compreender a variação que ocorre dentro dos plantios clonais e os fatores que interferem na formação das características dendrométricas, tecnológicas, e, na qualidade final do produto, é de vital importância tanto para o beneficiamento como para a sua utilização.

O presente trabalho foi desenvolvido buscando a identificação dos melhores espaçamentos de plantio para florestas clonais de um híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, de forma a maximizar a produção de biomassa do fuste por hectare. Teve, ainda, como objetivos complementares analisar influência do espaçamento de plantio no incremento anual em diâmetro, altura, volume por árvore e por hectare, área basal ao longo da idade, além do percentual de casca das árvores e densidade básica da madeira no último ano.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O *Eucalyptus* no Brasil

A introdução do *Eucalyptus* no Brasil ocorreu no início do século XX, mas somente na década de 60, com os incentivos fiscais, é que a silvicultura nacional viveu efetivamente sua fase inicial. O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é oriundo da Austrália, existindo ainda na Nova Guiné, na Indonésia e nas Filipinas. (SCOLFORO, 2008; ANDRADE, 1961). O Serviço Florestal da Austrália já identificou 670 espécies e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano. Além do elevado número de espécies, existe um número muito grande de variedades e híbridos (SILVA; RECH, 2001a).

O objetivo da introdução inicial do *Eucalyptus* era o abastecimento da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, que consumia, a cada ano, um milhão de dormentes e 600.000m<sup>3</sup> de lenha para alimentar as fornalhas das locomotivas (GARLIPP, 2007; QUEIROZ; BARRICHELO, 2008). A crescente demanda para o transporte das safras de café do interior para o litoral levou cafeicultores paulistas a iniciarem em 1872 o primeiro trecho de ferrovia, entre Jundiaí e Campinas. Bastaram 30 anos, porém, para que as matas às margens da ferrovia tivessem sido inteiramente dizimadas para alimentar as locomotivas (QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

Após cinco anos de pesquisa, o pesquisador Edmundo Navarro de Andrade, agrônomo designado para a escolha da melhor espécie a ser plantada para o

suprimento das ferrovias, comprovou que o *Eucalyptus* era imbatível. Detectou-se ao longo dos anos de estudo que ele era uma espécie de rápido crescimento, grande plasticidade, com características silviculturais desejáveis e de grande qualidade calorífica da madeira (ANDRADE, 1961; SILVA, 2007). A partir de 1908, as ferrovias passaram a plantar grandes extensões de eucaliptais.

O plantio de florestas para obtenção de celulose teve início com a Companhia Melhoramentos de São Paulo, empresa pioneira no plantio de *Eucalyptus* em 1877 para abastecer os fornos de cal e de cerâmica da empresa. Em 1923, os sucessores do coronel Antonio Prost Rodovalho, os irmãos Weisflog começaram a investir no *Eucalyptus* como fonte de matéria prima para celulose (CMSP, 2009). As florestas comerciais de *Eucalyptus*, que na década de 50 apresentavam uma produtividade média de 15 m<sup>3</sup> de madeira por hectare/ano, hoje alcançam resultado médio de 55 m<sup>3</sup> (QUEIROZ; BARRICHELO, 2008).

O Global Forest Resources Assessment 2010, realizado pela FAO, aponta que o Brasil, detentor da segunda maior área florestal do mundo, sofre com a falta de uma instituição nacional que centralize informações do segmento. Desta forma, há uma redução na disseminação de idéias e técnicas que poderiam incentivar o crescimento do setor florestal como todo. Hoje, no Brasil, 73% das florestas plantadas correspondem à área de plantios de *Eucalyptus*, o que representa aproximadamente 4,9 milhões de hectares, ressaltando que a área plantada desse gênero continua em processo de expansão (ABRAF, 2011).

O total de florestas em todo o mundo cobre uma área de pouco mais de 4 bilhões hectares, numa média de 0.6 hectares per capita. Os cinco países com maior área de florestas são, em ordem, a Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China que, juntos, contam com mais de 50% da área de florestas em todo o mundo. As florestas plantadas no Brasil (sendo os dados de 2009 e 2010 estimativas) crescem em ritmo acelerado. As áreas cobertas com pinus e eucalipto, as duas espécies mais populares no país, passaram dos 1.769.000 hectares em 1990 para 1.923.000 em 2010, e dos 2.964.000 para 4.913.800 hectares no mesmo período, respectivamente. Na soma com todas as principais espécies plantadas, o volume de florestas no Brasil saltou dos 4.984.141 hectares para 7.417.580 este ano, crescimento de mais de 35% (REMADE, 2011).

## 2.2. Melhoramento genético do *Eucalyptus* no Brasil

A exploração do *Eucalyptus* em território brasileiro teve sucesso a partir de três grandes saltos importantes. O primeiro salto trata-se da escolha assertiva dessa espécie como solução para a silvicultura nacional, mérito de Navarro de Andrade e de indústrias pioneiras do setor florestal brasileiro na década de 50. O segundo salto ocorreu com a técnica de clonagem do *Eucalyptus*, que consolidou os trabalhos de melhoramento genético, levando a um incrível aumento da produtividade atual das florestas, pois o objetivo do melhoramento florestal era melhorar a uniformidade das plantações, reduzir o número de falhas e de árvores dominadas, melhorar a forma do tronco, a disposição dos ramos, o crescimento em altura e o diâmetro das árvores. O terceiro salto trata-se da expansão do melhoramento genético utilizando a biotecnologia (QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

Os maiores desafios dos melhoristas florestais, desde os primeiros estudos clonais, consistiam na utilização de estratégias eficientes para obter indivíduos que apresentassem alto potencial de crescimento e, ao mesmo tempo, madeira de qualidade superior e no menor espaço de tempo. No entanto, existiam obstáculos a serem superados, como o fato de que as espécies tradicionalmente plantadas no Brasil apresentaram certas limitações nas propriedades de sua madeira (ASSIS, 2009). Neste contexto, o desenvolvimento de pesquisas genéticas avançadas, a genômica e a biotecnologia, tanto por empresas privadas quanto por instituições públicas de pesquisa, viabilizaram os processos de hibridização interespecífica para intensificar as características desejáveis nas árvores.

Segundo Rossi (2007), com o avanço da engenharia genética e das técnicas de melhoramento, híbridos do gênero *Eucalyptus* tiveram algumas de suas características potencializadas em relação às espécies parentais experimentando, por exemplo, ganhos da densidade média da madeira, sem comprometimento do incremento médio anual em volume (IMAV). No trabalho desenvolvido por Costa (2006) foi constatado que a utilização de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* obtiveram tanto ganhos significativos em IMAV, quanto em densidade, quando comparados com clones de *Eucalyptus* spp. sem hibridação. A Figura 1 apresenta esta relação entre a densidade básica com a produtividade de volume verde para os híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, identificada pelos pontos 4, 5 e 6, em relação aos clones de *Eucalyptus grandis*,

identificados pelos pontos 1, 2 e 3. O trabalho de Costa (2006) mostra que os híbridos experimentaram ganhos de IMAVcc e densidade básica superiores aos da espécie pura de *Eucalyptus grandis*.

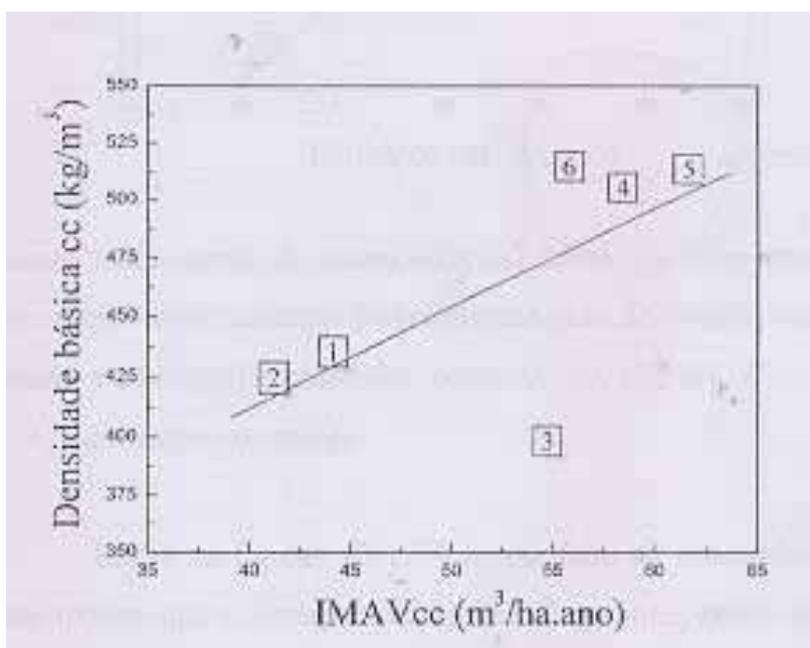


Figura 1 - Densidade básica (com casca) da madeira em função do incremento médio anual de volume verde com casca de tratamentos do reflorestamento

Fonte: Costa (2006)

Os programas de melhoramento florestal que utilizam a hibridação são bastante aplicados em empresas do setor que dispõem hoje de milhares de hectares plantados com indivíduos clonados de híbridos (SANTOS, 2005). As principais características de interesse introduzidas nas árvores são tolerância a herbicidas, resistência a insetos e doenças, tolerância ao estresse abiótico (seca, calor, frio, solos ácidos), melhoria na capacidade fotossintética e no crescimento das árvores, e finalmente, a modificação do conteúdo de lignina para as indústrias de celulose (DI CIERO, 2009).

No início, a silvicultura clonal brasileira teve como base híbridos espontâneos e híbridos naturais que foram os responsáveis pelo grande salto de produtividade florestal verificado nos últimos anos. Atualmente, as florestas clonais estão sendo derivadas de indivíduos gerados em programas de melhoramento genético, cuja principal estratégia tem

sido a produção de híbridos interespecíficos (ASSIS, 2006). A hibridação interespecífica em *Eucalyptus* tem se constituído na forma mais rápida de obtenção de ganhos genéticos, os quais vêm proporcionando benefícios de alta significância para a indústria de painéis no Brasil. O cruzamento de espécies que possuem características superiores, diferenciadas entre si, permite produzir árvores especialmente projetadas para determinada finalidade, com maior quantidade de atributos desejados (SILVA; RECH, 2001b).

A hibridação possibilita combinar, num único indivíduo ou grupo de indivíduos, características florestais distintas que sejam de interesse, desde que se utilizem espécies que sejam complementares. Quanto à obtenção dessas características desejadas, pode-se, por exemplo, produzir árvores de alto crescimento, com menor propensão a rachaduras, com fibras bem orientadas, com uma coloração bem definida (SILVA; RECH, 2001b).

No Brasil, a combinação de duas espécies de *Eucalyptus* representou um grande salto para a silvicultura nacional, trata-se do cruzamento entre o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, originando o popular *Eucalyptus urograndis*. Este híbrido foi desenvolvido para atender às principais características de interesse das indústrias florestais de painéis e de papel e celulose no Brasil. O objetivo do cruzamento destas duas espécies foi a obtenção de árvores com um bom crescimento, característica do *Eucalyptus grandis* e um leve aumento na densidade da madeira, características do *Eucalyptus urophylla*. A rusticidade, propriedades da madeira e resistência ao déficit hídrico do *Eucalyptus urophylla* também fazem parte deste interesse no cruzamento de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (REMADE, 2003).

### **2.3. Espaçamento de plantio e suas influências na cultura do *Eucalyptus***

A definição do espaçamento inicial de plantio é uma decisão das mais importantes na instalação de um povoamento florestal por ter influência marcante na produtividade e afetar significativamente os custos de implantação, manutenção, exploração da floresta e, principalmente, na qualidade da madeira a ser produzida (VALE et al., 1982). Oliveira Neto et al. (2003) afirmam que o espaçamento a ser adotado no plantio deve ser selecionado em função do produto florestal desejado, uma vez que, em espaçamentos mais

amplos, a produção de matéria seca da parte aérea por árvore, em especial do fuste por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos por unidade de área.

Para o desenvolvimento das árvores sob os aspectos tecnológicos, silviculturais e econômicos, o espaçamento exerce grande importância por influenciar várias características quantitativas e qualitativas e, por interferir significativamente na morfologia das árvores e no seu crescimento, em particular no diâmetro, independente das suas características genéticas (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989). Os espaçamentos nos povoamentos florestais não devem ser sistematizados para cada espécie ou local, mas sim estudados em cada situação, baseados em informações precisas sobre o destino do produto final, tipo de solo, clima, hábito da espécie, sobrevivência esperada, tratamentos culturais e tipos de equipamentos a serem utilizados nos tratamentos silviculturais, implantação, colheita e remoção da madeira do povoamento (MONTEIRO; CORDEIRO, 1983; COUTO et al., 1977).

Muitos são os fatores que determinam o espaçamento a ser empregado nos plantios: a forma como crescem e se desenvolvem as raízes; profundidade e tipo de solo; o crescimento e desenvolvimento da copa em relação à tolerância das espécies às podas naturais; e a finalidade dos plantios. Ao se eleger o espaçamento mais adequado, deve-se dar, a cada indivíduo, espaço suficiente para conseguir o máximo crescimento sem desperdício de espaço (FAO, 1960).

A produtividade florestal é influenciada, dentre outros fatores, pelas técnicas silviculturais adotadas, como preparo do solo, adubação, combate a pragas, estradas e aceiros, implantação e condução da floresta (REZENDE et al., 1983; BERGER, 2000). Dentre as práticas adotadas, a densidade de plantio exerce grande influência tanto na produtividade quanto na qualidade da madeira, o que já foi comprovado por inúmeros estudos (COELHO et al., 1970; BRASIL; FERREIRA, 1971; MELLO et al., 1971; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

Atualmente, com a evolução das técnicas de implantação e manejo, e dos trabalhos de melhoramento florestal, os silvicultores têm deixado de dar importância somente à aplicação de fertilizantes nos povoamentos florestais e passado a aliar a produtividade e qualidade para maximizar os rendimentos e aumentar a qualidade de produtos

que se pode obter da floresta. No entanto, Shimoyama e Barrichelo (1989) afirmam ainda que devemos considerar que as práticas que aceleram o ritmo de crescimento das árvores resultam, no geral, numa ligeira diminuição da densidade da madeira; porém, essa queda é nitidamente recompensada pela maior produção de biomassa por unidade de área.

No trabalho desenvolvido por Coelho et al. (1970) foi constatado que plantações estabelecidas sob um espaçamento de 2,0x2,0m oferecem dificuldades à mecanização, à extração dos produtos e são de condução dispendiosa até a idade do primeiro desbaste que possibilite a obtenção de produtos comercializáveis. Por este motivo, os estudos para avaliação do adensamento de plantio tem variado o espaçamento entre as árvores, e não entre as linhas de plantio (MÜLLER et al., 2005; BERGER et al., 2002).

### **2.3.1. Influência na densidade básica da madeira**

O desenvolvimento alcançado pela genética florestal coadjuvado com os ganhos obtidos no rendimento volumétrico foram as primeiras etapas de um programa onde se procurou melhorar a qualidade da madeira (BRASIL, 1976). Dentre os parâmetros empregados na avaliação da qualidade da madeira, a densidade básica tem merecido atenção especial como decorrência de sua íntima relação com algumas importantes características tecnológicas e econômicas (PEREIRA, 1982). A madeira formada no lenho das árvores em plantações florestais tem sua qualidade influenciada pelos fatores ambientais, dentre estes, o sítio (substrato-solo), precipitação, temperatura, etc. Segundo Vital (1984) a utilização da densidade básica, dentre outros fatores, é muito difundida por todo o mundo, sendo um dos índices de qualidade mais estudados.

Queiroz et al. (2004) afirma que na indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da densidade básica fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimento do processo e geralmente está associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa.

Mokfienski (2004), analisando a influência conjunta da densidade básica e do teor de carboidratos da madeira no consumo específico da madeira sem casca (CEM), isto é, a quantidade de madeira, em metro cubico sem casca, para fabricação de uma

tonelada de polpa marrom absolutamente seca, mostrou uma influência plena da densidade básica, sendo que os menores consumos específicos de madeira foram obtidos com madeiras mais densas (madeiras A, D e J) conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Estimativa do consumo específico de madeira

Características	Unid.	<i>Eucalyptus</i>										
		<i>globulus</i>		<i>nitens</i>		<i>híbrido</i>		<i>grandis</i>			<i>urophylla</i>	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Densidade básica	kg/m <sup>3</sup>	516	484	421	525	365	389	433	406	430	544	
Rend. depurado	%	52,6	48,9	51	52	53,2	55,6	52,8	53,3	53,5	51,6	
Consumo madeira	Tm/tp	1,90	2,04	1,96	1,92	1,80	1,80	1,89	1,88	1,87	1,94	
Consumo madeira	m <sup>3</sup> s/tp	3,68	4,21	4,66	3,60	5,15	4,63	4,36	4,63	4,35	3,57	

Tm – tonelada de madeira seca; tp – tonelada de polpa seca e m<sup>3</sup>s – metro cúbico sólido de madeira

Fonte: Mokfienski (2004), modificado pelo autor

Para Migliorini (1986), cada aplicação tecnológica apresenta vantagens e desvantagens quando se utiliza madeira de maior densidade. Namkoong et al. (1969 apud MIGLIORINI, 1986) enfatiza os benefícios do uso da madeira de maior densidade que reflete na redução do manuseio e estocagem, aumenta o rendimento em peso de matéria seca no transporte e nos picadores, quando necessária a transformação da madeira em cavacos.

Estudando a variação da densidade básica média de madeira obtida de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Ferreira (1970) concluía pela existência de alta variabilidade individual dentro das classes de diâmetro analisadas. As árvores mais vigorosas tinham em média, maior densidade básica média que as menos vigorosas. Coelho et al. (1970) constataram que os espaçamentos tiveram efeito positivo sobre o crescimento em diâmetro, não influenciando o crescimento em altura das árvores.

Shimoyama e Barrichelo (1989) apontam a grande importância para a área de melhoramento florestal de se conhecer as correlações entre as características a serem melhoradas, densidade, por exemplo, e as demais características da árvore, como por exemplo, as características de crescimento.

Bouvet et al. (1999) e Bouvet e Baillers (1995), estudando o efeito genético e ambiental no crescimento e na densidade básica do lenho de 2 híbridos de *Eucalyptus* no Congo constataram que, após a aplicação de fertilizantes e ampliação do espaçamento houve uma aceleração no crescimento das árvores e um aumento na densidade básica do seu lenho. Vigneron et al. (1995) detectou o mesmo comportamento de acréscimo no

crescimento e aumento na densidade básica do lenho com a aplicação de fertilizantes e a ampliação do espaçamento das árvores de 4 clones de híbrido de *Eucalyptus* no Congo.

Ratnieks et al. (1987), estudando a influência do espaçamento de plantio sobre a qualidade da madeira e da polpa de *Eucalyptus dunnii* com idade de sete anos, proveniente de um experimento florestal originado da Klabin Agro-Florestal S.A., citam que o espaçamento afetou significativamente o desenvolvimento e a produtividade das florestas implantadas, não havendo reflexos sensíveis na produção e qualidade das celuloses kraft não-branqueadas e branqueada, concluindo, no entanto, que com relação aos resultados obtidos, a espécie apresentou-se excelente para a produção de polpa kraft.

Com a finalidade de detectar possíveis diferenças na densidade básica de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus alba* e *Eucalyptus saligna* em função de variações do espaçamento e localidade, Brasil e Ferreira (1971) concluíram que os espaçamentos 3,0x2,0m e 3,0x1,5m não tiveram influências significativas sobre os valores de densidade, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Variação da densidade básica em dois espaçamentos em espécies de *Eucalyptus*

Espaçamento (m)	Densidade básica por espécies (kg/m <sup>3</sup> )		
	<i>Eucalyptus alba</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
3,0 x 1,5	535	492	485
3,0 x 2,0	550	502	458

Fonte: Brasil e Ferreira (1971), modificado pelo autor

Segundo Brasil (1972), a densidade básica do lenho de *Eucalyptus propinqua*, avaliada em função do local e do espaçamento mostrou diferenças significativas somente para locais, o autor coloca ainda que a densidade básica da madeira não foi influenciada pelo espaçamento, sendo que no sítio de crescimento inferior, as árvores formaram lenho de densidade básica mais alta. Vital et al. (1981), trabalhando com árvores de 2,6 anos de *Eucalyptus grandis*, não observaram alterações na densidade básica média do lenho no DAP - diâmetro a altura do peito, e para a média do tronco, concluindo que na idade avaliada não houve diferença entre o espaçamento e a taxa de crescimento das árvores.

### 2.3.2. Influência na produção de casca

A forma de se encarar economicamente a casca das árvores dos *Eucalyptus* tem variado com o tempo. Inicialmente, ela foi considerada como um resíduo ou como um fator de aborrecimento nos processos industriais. Brito e Barrichelo (1979) previam um aumento na demanda de madeira a partir do ano 2000 e sugeriam que, uma forma de tentar suprir esta demanda era através da utilização integral da árvore, utilizando não só o tronco, mas também tocos, galhos, raízes e casca.

Para Brito (1978), o uso da casca como matéria prima, de forma particular, seria bastante significativo não só do ponto de vista do aumento de disponibilidade de material fibroso, pois, se utilizada juntamente com o tronco sem o tradicional descascamento, evitaria tal operação onerosa, sobre tudo quando feita manualmente. Com relação às propriedades físicas da casca, um destaque maior tem sido dado para a densidade. Murphey et al. (1970 apud BRITO, 1978), afirma que, assim como ocorre na madeira, a casca apresenta variabilidades na densidade dentro de uma mesma árvore. Chow (1977 apud BRITO, 1978), complementa que, de modo geral, a casca quase sempre apresenta uma maior variabilidade na densidade quando comparada com a da madeira.

Smith e Kosak (1971) estudando o efeito na variação da densidade da casca, revelaram uma variação na densidade da casca interna de coníferas, situada na faixa de 0,31 a 0,45g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a densidade da casca externa esteve situada entre 0,34 a 0,70g/cm<sup>3</sup>. Segundo os autores, para o caso de folhosas, a densidade da casca interna situou-se entre 0,34 e 0,52g/cm<sup>3</sup> enquanto que a densidade da casca externa situou-se entre 0,44 e 0,77g/cm<sup>3</sup>. Os fatores que mais influenciam sobre a densidade da casca, são principalmente a maior ou menor presença de material poroso, com ritidoma resultando em densidades mais baixas, bem como o teor de extrativos que pode levar a uma super avaliação da densidade, principalmente em coníferas (WENZL, 1970).

Embora possa ser aproveitada, a casca das árvores ainda é considerada uma parte menos valiosa nas utilizações industriais, pois quanto menor é seu teor nas árvores, melhor é a árvore para fins comerciais. Foelkel (2005) afirma que a casca tem ganhado importância nos programas de melhoramento genético. Gouvea et al. (1997), porém, trabalhando com seleção de árvores superiores baseada na porcentagem de casca afirma que,

para caracterização da qualidade e produtividade da madeira de árvores de *Eucalyptus urophylla* a casca não apresentou correlação eficiente para seleção dos indivíduos; segundo os autores, foram encontradas maiores diferenças no percentual de casca quando comparadas as procedências do que quando comparados os padrões de casca.

Segundo Foelkel (2005), existe uma alta correlação inversa entre o crescimento da árvore e a porcentagem de casca. Árvores maiores (em diâmetro e altura) de uma mesma espécie e a uma mesma idade, tendem a ter menor percentual de casca do que árvores de menores diâmetros; sendo assim, estabelece-se uma tendência de que quanto maior a área disponível para o crescimento da árvore, maior será a proporção de madeira em relação à casca. Barrichelo e Brito (1977) constataram que a porcentagem de casca em árvores de *Eucalyptus grandis* foi maior na base e no topo do tronco, diminuindo nas posições intermediárias, encontrando correlações positivas entre a porcentagem de casca e a densidade básica da madeira.

Goulart et al. (2003) avaliando a influência do espaçamento na quantidade de massa seca da casca e da madeira constatou que, com o aumento do espaço vital ( $m^2$ ) a massa seca da casca e da madeira diminuíram; o autor concluiu em seu trabalho que o tratamento com  $1,5m^2$  foi o que apresentou maior valor de massa seca de casca e madeira (ton/ha), seguido pelo tratamento com  $3,0m^2$  (Tabela 3).

Tabela 3 – Densidade básica e massa seca da casca e madeira em função dos espaçamentos

Tratamento	Entre linhas (m)	Entre árvores (m)	Área vital ( $m^2$ )	Db madeira ( $g/cm^3$ )	Db casca ( $g/cm^3$ )	Biomassa madeira (ton/ha)	Biomassa casca (ton/ha)
1	1,0	1,0	1,0	0,40	0,26	210	20
2	1,5	1,0	1,5	0,44	0,28	272	23
3	2,0	1,0	2,0	0,41	0,26	214	20
4	2,0	1,5	3,0	0,47	0,27	257	22
5	2,5	1,5	3,8	0,39	0,24	176	18
6	2,0	2,0	4,0	0,41	0,24	201	19
7	2,5	2,0	5,0	0,38	0,24	158	18
8	2,5	2,5	6,3	0,45	0,27	215	21
9	3,0	2,0	6,0	0,40	0,25	168	18
10	3,0	2,5	7,5	0,42	0,24	160	17
11	3,0	3,0	9,0	0,40	0,24	172	18
12	4,0	3,0	12,0	0,38	0,23	91	9

Em que cada valor é uma média de três árvores. Db madeira=densidade básica da madeira; Db casca=densidade básica da casca; Biomassa madeira=massa seca de madeira; Biomassa casca=massa seca da casca.

Fonte: Goulart et al. (2003), modificado pelo autor

### 2.3.3. Influência no ritmo de crescimento e na produtividade

Campos e Leite (2006) definem crescimento como um processo caracterizado por mudanças na forma e no tamanho do tronco, com a adição contínua de novas camadas de lenho ao longo de todo o material lenhoso existente. Davis (1996 apud PAULESKI, 2010) afirma que o crescimento é normalmente expresso em unidades de volume; entretanto, o manejo, objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar seriamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira, comprometendo a sua utilização em diferentes aplicações.

Considerando a madeira como um produto do processo de crescimento das árvores e assumindo que os fatores que afetam o ritmo de crescimento também afetam a madeira produzida, espera-se que diferenciações no ritmo de crescimento afetem a qualidade da madeira mediante padrões passíveis de mensuração (CAMPOS; LEITE, 2006; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989). Segundo Mora (1986), a resposta das árvores ao aumento do espaçamento varia de acordo com a espécie, havendo aquelas que respondem desde positivamente até negativamente ao aumento do espaçamento, em relação às características de crescimento estudadas.

Pereira (1982) afirma que após a implantação de um povoamento, as árvores passam por uma fase de crescimento livre com plena disponibilidade dos fatores do sítio. Segundo Migliorini (1986), é exatamente nesta fase que se verifica uma diferenciação no crescimento das árvores, refletindo em suas características dendrométricas. Segundo Daniel et al. (1979), o crescimento de um povoamento é afetado pelo estágio de desenvolvimento do mesmo, estando sempre condicionado à idade, qualidade do sítio, espécie, densidade e à unidade de medição em que é expresso.

Vários autores, entre eles Schönau (1974), Fishwick (1976), Couto et al. (1977), Simões et al. (1980), Schneider (1993), Yared et al. (1993), confirmam a influência do espaçamento entre árvores sobre as características de crescimento (volume, diâmetro e/ou altura) e sobrevivência dos povoamentos. Smith (1962 apud MELLO et al., 1971), estudando a densidade populacional de povoamentos florestais, estabeleceu que o mínimo ideal de árvores por unidade de área deve ser determinado pela quantidade que deve crescer tirando o melhor e

maior proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos com dimensões, forma e qualidades mais convenientes. As principais alterações que podem ocorrer na qualidade da madeira estão, geralmente, associadas ao aumento do número e dimensão dos nós e a proporção de casca que, por sua vez, geram diferenças na densidade básica.

Em espaçamentos muito amplos, a densidade populacional é baixa, permitindo o desenvolvimento de árvores com maiores diâmetros, grande área de copa e com bastante ramificação; gerando a presença de muitos nós que podem depreciar o preço da madeira, dependendo dos objetivos finais onde se pretende utilizá-la (PAULESKI, 2010).

A produção qualitativa e quantitativa de madeira dos povoamentos florestais está, em sua maioria, relacionada a fatores de sítio, tratos silviculturais e, principalmente, com a densidade da população e outros fatores ambientais. Neste aspecto, à medida que o espaçamento é reduzido, o número de árvores aumenta e tem-se uma maior densidade populacional por unidade de área; aumentando a competição entre plantas por água, luz e nutrientes devido à falta de sistema radicular e uma baixa produção fotossintética. Esta competição prematura pode resultar em uma estagnação no crescimento, pois à medida que o povoamento se desenvolve, as copas se fecham e é iniciada a competição, e conseqüentemente, inicia-se a manutenção ou redução da área basal (SCHNEIDER, 2008).

Schönau e Coetzee (1989) afirmam que, para as espécies de *Eucalyptus*, o crescimento volumétrico, diamétrico e em área basal, geralmente atingem valores máximos, antes dos 10 anos, e o incremento médio anual (IMA), antes de 15-20 anos. Bamber et al. (1982) compararam duas populações de *Eucalyptus grandis* aos 3 meses de idade, sendo uma com crescimento normal e outra com crescimento rápido, influenciado pela combinação de tratamentos silviculturais. Os autores observaram que para a densidade básica da madeira, no crescimento normal, o valor foi de 420kg/m<sup>3</sup> e no crescimento rápido a densidade básica foi de 460kg/m<sup>3</sup>.

Ladeira (1999) avaliando o crescimento e a produção de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* sob três espaçamentos (3,0x1,5m; 3,0x3,0m e 3,0x4,0m) detectou que a competição entre árvores não influenciou o crescimento em altura, mas afetou a distribuição diamétrica dos povoamentos, pois os valores de diâmetro no DAP, para as três espécies estudadas, foram crescentes com o aumento do espaçamento. A predominância de árvores de menores diâmetros nos povoamentos mais

densos elevou os custos de produção da madeira, enquanto a existência de maior proporção de árvores com diâmetro mais elevado, nos espaçamentos mais abertos, aumentou a rentabilidade da atividade florestal, especialmente quando se adota a prática do uso múltiplo da floresta.

No trabalho desenvolvido por Land et al. (1983) os autores constaram que, nos sítios com rápido crescimento em volume por unidade de área houve uma redução da densidade básica em relação às taxas de crescimento menores, porém, o aumento do volume por unidade de área nos sítios mais produtivos compensaria a perda em densidade, havendo maior colheita de matéria seca por hectare.

Segundo Malan (1991), a taxa de crescimento causa efeitos mínimos na densidade básica da madeira em árvores de *Eucalyptus grandis* de mesma idade (Figura 2).

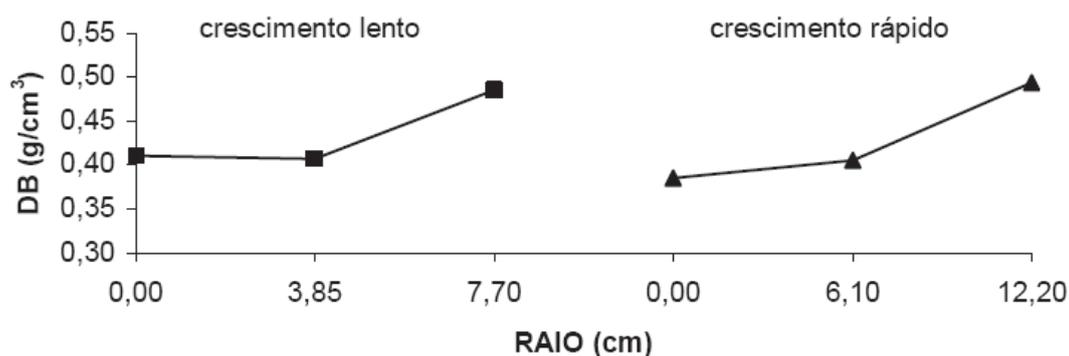


Figura 2 – Variação radial da densidade básica (DB) com o tipo de crescimento para *Eucalyptus grandis* aos 8,5 anos de idade

Fonte: Malan (1991)

#### 2.3.4. Influência na produção de biomassa do fuste

O peso seco de uma árvore, resultante da multiplicação do volume sólido de madeira pela densidade básica, é um parâmetro de elevada importância na classificação de árvores e quantificação da produção de matéria seca de um povoamento destinado para fins de produção de celulose (BERGER, 2000).

Apesar das informações a respeito do volume de madeira por hectare ao final da rotação ser o ponto chave na gestão de florestas plantadas Busnardo et al. (1983) afirmam que esta variável, se convertida para produção de matéria seca ao final da rotação torna-se um índice mais representativo da produtividade para a indústria florestal. Considerando a alta variabilidade da madeira associada às diferentes espécies, procedência das sementes e idade de colheita, autores como Brasil (1972); Ferreira e Kageyama (1978), também sugeriram o peso seco por unidade de área.

No trabalho desenvolvido por Bernardo et al. (1998), foi observado que o espaçamento de plantio pode afetar a alocação de biomassa nos diversos componentes da árvore. Segundo o autor, em espaçamentos mais abertos, houve redução na proporção da biomassa do fuste em relação à biomassa total, em razão do aumento da alocação da biomassa para folhas e raízes laterais, para *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, e das raízes com diâmetro superior a 2 mm, para *Eucalyptus camaldulensis*. Leles (1995) também observou que, no espaçamento 9,0x9,0m, *Eucalyptus pellita* aloca grande parte de fotoassimilados para produção de raízes, ou seja, em espaçamentos muito amplos pode ocorrer alocação de biomassa para componentes da árvore que não são explorados comercialmente.

Johnston et al. (1967) já preconizavam que o peso (ton/ha) de material lenhoso (peso de matéria seca) é mais importante para a produção de pasta de celulose do que apenas o volume (m<sup>3</sup>/ha). Os autores alertam ainda, que se a madeira destinada a produção de pasta fosse vendida conforme o peso seco, as diferenças de densidade básica da madeira teriam uma influência considerável nas rentabilidades relativas do empreendimento.

No trabalho desenvolvido por Souza (1989), com 2 espaçamentos distintos (3,0x1,5m e 3,0x2,0m) para *Eucalyptus grandis*, foi observado que o máximo incremento médio anual em peso ocorreu, aproximadamente, 4% mais tarde que o máximo incremento médio anual em volume, devido aos aumentos ocorridos na densidade básica. A idade de máximo incremento em volume e peso é respectivamente, 12,8 e 13,8% menor no espaçamento mais denso. Isto evidencia a necessidade de se considerar o peso como variável de estudo.

Avaliando o crescimento e a produção de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* sob três espaçamentos (3,0x1,5m; 3,0x3,0m e 3,0x4,0m), Ladeira (1999) detectou que o aumento da densidade populacional

causou redução da produção de matéria seca por árvore, mas provocou aumento da produção por hectare. A diferença de produção entre os dois espaçamentos extremos diminuiu com o avanço da idade, o que se deve ao fato de que, nos espaçamentos mais densos, a maior competição entre as árvores resulta na estabilização do acúmulo de biomassa em menores idades que aquelas observadas em espaçamentos mais amplos.

Oliveira et al. (1999) estudando a produção de massa seca por unidade de área em sete espécies de *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos observou que, a melhor produtividade em madeira foi obtida pelas árvores de *Eucalyptus grandis*, seguindo-se o *Eucalyptus pilularis* e *Eucalyptus urophylla*. As demais espécies apresentaram fuste com 350kg de massa seca média, inferior às mencionadas (Tabela 4).

Tabela 4 – Volume de madeira (com e sem casca), densidade básica e casca das árvores das sete espécies de *Eucalyptus*

Espécie	Volume ( m³ )		Massa seca (kg)	Casca	
	com Casca	sem Casca		(m³)	(%)
<i>E. citriodora</i>	0,66 (0,05/8,1) <sup>1</sup>	0,52 (0,05/9,1)	380 (40/10,5)	0,14 (0,01/8,8)	21,54 (1,62/7,5)
<i>E. tereticornis</i>	0,73 (0,08/10,6)	0,61 (0,07/11,7)	403 (63/15,7)	0,12 (0,02/13,5)	17,02 (2,28/13,4)
<i>E. paniculata</i>	0,65 (0,15/23,7)	0,51 (0,13/24,8)	366 (83/22,6)	0,14 (0,03/21,3)	21,41 (2,16/10,1)
<i>E. pilularis</i>	1,05 (0,21/19,6)	0,89 (0,19/21,0)	530 (93/17,5)	0,15 (0,02/14,9)	14,91 (1,49/10,0)
<i>E. cloeziana</i>	0,65 (0,10/15,3)	0,50 (0,05/11,1)	385 (59/15,3)	0,11 (0,01/9,2)	17,43 (2,80/16,1)
<i>E. urophylla</i>	1,08 (0,20/18,4)	0,94 (0,19/20,1)	512 (108/21,1)	0,13 (0,01/10,6)	12,75 (1,95/15,3)
<i>E. grandis</i>	1,62 (0,28/17,5)	1,45 (0,27/18,6)	703 (115/16,3)	0,17 (0,02/10,8)	10,82 (1,36/12,6)

Os valores indicam o desvio padrão e coeficiente de variação (%), respectivamente

Fonte: Oliveira et al. (1999)

Goulart et al. (2003) estudaram as variáveis densidade básica, massa seca da madeira e de casca para *Eucalyptus grandis* em função de 12 espaçamentos no Rio Grande do Sul e observaram que a maior produção de massa seca de casca e de madeira por unidade de área estava relacionada com o número de árvores por hectare e também com a

densidade básica da madeira. Segundo os autores, foi verificada também uma variação para a massa seca de madeira em função do espaço vital (definido pela relação do espaçamento entre árvores pelo espaçamento entre linhas), e também pode ser observada para massa seca em função do espaçamento entre linhas (Tabela 5).

Tabela 5 – Equações ajustadas para estimar a densidade básica e a massa seca de madeira em função do espaçamento entre linhas e entre árvores

Equação	$R^2_{aj}$	F	$S_{yx}$	Valor de p (%)
$\frac{1}{\sqrt{ME}} = 1,34866 + 0,07938L + \frac{0,15080}{A^2}$	14,86	4,06	0,0339	2,66
$\frac{1}{\sqrt{ME_c}} = 1,73505 + 0,10112L + \frac{0,12489}{A^2}$	17,82	4,79	0,0289	1,49
$\frac{1}{MS} = -0,00400 + 0,00359L + \frac{0,00530}{A L}$	85,62	105,22	0,0007	< 0,00
$\frac{1}{MS_c} = -0,04380 + 0,03702L + \frac{0,06033}{A L}$	80,42	72,90	0,0026	< 0,00

Em que: ME= densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>); L= espaçamento entre linhas (m); A= espaço vital (E x L); E= espaçamento entre árvores (m); ME<sub>c</sub> = densidade básica da casca (g/cm<sup>3</sup>); MS= massa seca da madeira (ton/ha); MS<sub>c</sub>= massa seca da casca (ton/ha); R<sup>2</sup><sub>aj</sub>= coeficiente de determinação; F= F calculado; S<sub>yx</sub>= erro-padrão da estimativa; valor de p= significância do modelo (%).

Fonte: Goulart et al. (2003), modificado pelo autor

Busnardo et al. (1983), encontraram em seu trabalho uma alta correlação entre o peso seco e o volume, DAP, peso estimado de casca e altura comercial das árvores estudadas, destacando a grande aplicabilidade da estimativa do peso seco da árvore através da medição do DAP, traduzida pela rapidez de coleta e sem a necessidade de ensaios destrutivos. Coelho et al. (1970) concluíram que a produção, expressa pelo peso de madeira seca, não foi afetada pelo espaçamento. Porém Souza (1989) encontrou que a produção em peso e volume é maior no menor espaçamento estudado, porém tende a se igualar a partir de 114 meses.

## 2.4. Delineamento sistemático no estudo de espaçamentos em plantios

Experimentos tradicionais com repetição, aleatorização dos tratamentos, controle local e bordadura, têm restringido o número de espaçamentos testados

nos ensaios de campo, dadas às dificuldades relativas às disponibilidades de área e recursos para instalação, manutenção e avaliações (STAPE, 1995).

Como forma alternativa de diminuir a área experimental, Dawkins (1960) cita o uso do delineamento sistemático com gradientes crescentes de intensidades de intervenção numa direção, eliminando as bordaduras, e aleatorizando esta direção dentro dos blocos.

Freeman (1988 apud STAPE, 1995), estudando delineamentos sistemáticos identificou dois grupos de delineamentos que recebem esta mesma denominação. Segundo o autor, estes grupos são diferenciados pelas seguintes peculiaridades: o primeiro define que a sistematização em um experimento é necessária em função de uma particularidade inerente ao material amostral disponível, como os experimentos em indústrias e na área médica; o segundo grupo, define que a sistematização é devida a existência de níveis quantitativos contínuos nos tratamentos, os quais são dispostos numa ordem crescente ou decrescente nas unidades experimentais, objetivando reduzir ou eliminar bordaduras, diminuir a área experimental e aumentar o número de tratamentos em teste.

Chalita (1991), estudando o delineamento sistemático para testar variedades de cafeeiros, alerta que o uso da sistematização, quando não há fator quantitativo em estudo, não se justifica e não traz ganho algum a experimentação. Stape (1995) afirma que, apesar da preocupação dos pesquisadores com relação à estimativa do erro experimental e também das análises estatísticas destes experimentos, existem grandes vantagens práticas na instalação dos delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo. O autor sugere o uso de modelos de regressão nos delineamentos sistemáticos, tendo como variável dependente alguma medida de crescimento e produção e como variável independente a densidade de árvores.

Oda (2005) afirma que uma das vantagens do delineamento sistemático é o seu uso para ensaios preliminares, ocupam muito menos espaços, permitem incluir tratamento extremos e são fáceis de observar com grande valor demonstrativo. Relata ainda que são especialmente úteis no estudo inicial de respostas básicas, têm potencial considerável, mas são relativamente inexplorados. Porém, uma das maiores críticas aos delineamentos sistemáticos, com fator contínuo, para Mead (1988 apud ODA, 2005), é que faltam métodos de análise que possibilitem utilizar apropriadamente os dados experimentais

obtidos nestes delineamentos e também se devem a uma visão restrita da experimentação na sua realidade prática.

Wright (1976 apud STAPE, 1995) afirma que este delineamento, aliado ao forte apelo intuitivo de sua concepção mais compacta e abrangente, levou também a área florestal, espelhando-se nas áreas hortícola e agrícola, a utilizar-se das mesmas técnicas em seus estudos de espaçamentos.

#### **2.4.1. Delineamento sistemático com fator quantitativo contínuo**

Delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo são aqueles em que os tratamentos representam valores crescentes de um determinado fator, que são arranjados nas unidades experimentais em ordem crescente ou decrescente (FREEMAN, 1988). Nelder (1962) propôs este tipo de delineamento para estudo de espaçamentos na área hortícola, em virtude de que se poderiam dispensar as plantas de bordadura, pois os efeitos das parcelas anterior e posterior em relação a uma determinada parcela seriam compensatórios. Dentre os delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo, propostos por Nelder (1962), destaca-se o denominado delineamento sistemático tipo “leque”, que consiste no plantio das árvores em raios, tendo distâncias específicas a partir do centro, de forma a proporcionar um aumento gradual e coerente do espaçamento por árvore (Figura 3).

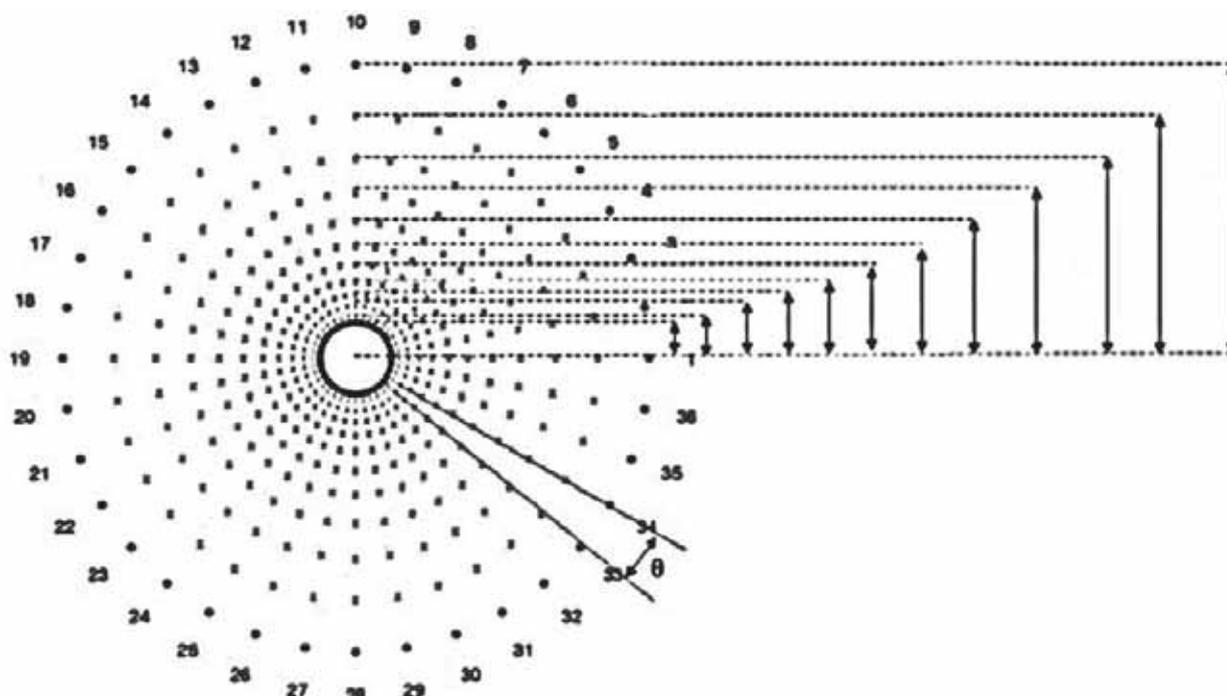


Figura 3 – Croqui de instalação do experimento sistemático tipo *leque*, proposto por Nelder

Fonte: Oda-Souza et al. (2008), modificado pelo autor

Um delineamento sistemático consiste numa malha de pontos, cada uma representando a posição de uma árvore, sendo que cada área por árvore e/ou retangularidade, ou seja, a razão entre as distâncias inter e intra linhas, é constante e muda conforme um modelo consistente nas diferentes partes da malha (ODA, 2005).

A simplicidade e o tamanho reduzido dos delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo, propostos por Nelder, fornecem informações valiosas para decisões básicas sobre o espaçamento para povoamentos florestais, principalmente quando a silvicultura se estende em áreas geográficas novas, em novos genótipos, e até em técnicas silviculturais novas.

### 2.4.2. Métodos de análise

Para as análises dos dados oriundos do modelo proposto por Nelder, Oda-Souza et al. (2008) afirma que dois fatores devem ser considerados. O primeiro é que o arranjo sistemático (não casualizado) das plantas não permite o uso das análises convencionais, por ferir o princípio básico da casualização na alocação dos tratamentos, pois a falta da casualização não garante a independência dos erros associados a cada unidade experimental, tornando as unidades experimentais correlacionadas. O segundo é a alta sensibilidade para valores perdidos, pois segundo Nelder (1962), quando uma planta é perdida, o espaçamento das plantas vizinhas é alterado e, com isso, esses valores não podem ser incluídos no conjunto de dados, e informações consideráveis são excluídas das análises, pois a ocorrência de uma falha nestes delineamentos resulta na perda de cinco observações, a falha e seus quatro vizinhos imediatos

Apesar do grande número de experimentos sistemáticos sugeridos por diversos autores, Evert (1971), Lin e Morse (1975) comentam que quase inexitem trabalhos efetuando análises estatísticas de delineamentos sistemáticos. Segundo Stape (1995), diversos autores recomendam a análise de regressão como uma das grandes ferramentas de análise de delineamentos sistemáticos com níveis crescentes do fator nos tratamentos. Namkoong (1966) sugere a equação de Richards (1959) no ajuste de modelos de crescimento para espaçamentos florestais por considera-la bastante flexível no ajuste de qualquer forma de crescimento vegetativo.

Nas Ciências Florestais, modelos como de Von Bertalanffy, são amplamente utilizados, apesar de terem sido desenvolvidos para animais. Bertalanffy descrevia o crescimento como um processo de síntese (anabolismo) e degradação (catabolismo), propondo um valor restrito a  $\beta_0=2/3$  e  $\beta_1=1$ . Por este motivo, na área florestal, ainda existem dúvidas quanto ao uso do modelo de Bertalanffy por ter sido desenvolvido para animais, não servindo para árvores de grande porte em função de problemas nas relações alométricas que talvez não sejam transferíveis (ZEIDE, 1993 apud SPATHELF; NUTTO, 2000).

Richards e Chapman, estudando a equação de Bertalanffy, propuseram um valor de  $\beta$  variável que depende da natureza da população estudada. Esta equação

diferencial foi denominada por Turnbull (1963 apud SILVA et al., 1996) como modelo de crescimento de Chapman–Richards. Silva et al. (1996) afirmam que atualmente, um dos modelos mais utilizados em pesquisas que avaliam o crescimento de florestas é o modelo de Chapman-Richards. Segundo Brito (2007), a função de Chapman-Richards tem aplicações das mais variadas na ciência florestal, onde processos de crescimento sigmoidais são representados. Venus e Causton (1979) recomendam o uso deste modelo pela flexibilidade e por fornecer parâmetros com significado biológico.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Local de implantação e características do ensaio**

A região do ensaio pertencia à Fazenda Santo Antônio do Palmital, localizada no município de Lençóis Paulista, SP com as coordenadas geográficas SAD69 e MC 51°Wgr com 22°49'06,3" de Latitude Sul e 48°48'17,7" de Longitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo CWA com médias anuais próximas a 1.330mm de precipitação e 21°C de temperatura. A partir das análises de solo realizadas na fazenda em questão, o solo que caracteriza a região de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Psamítico, Textura média arenosa, A moderado, Álico, Caulinítico.

A área experimental faz parte de uma série de ensaios de espaçamento instalados em diferentes regiões de atuação da empresa Duraflora S.A. (Figura 4), sendo que o ensaio analisado está situado na região "SP 1".

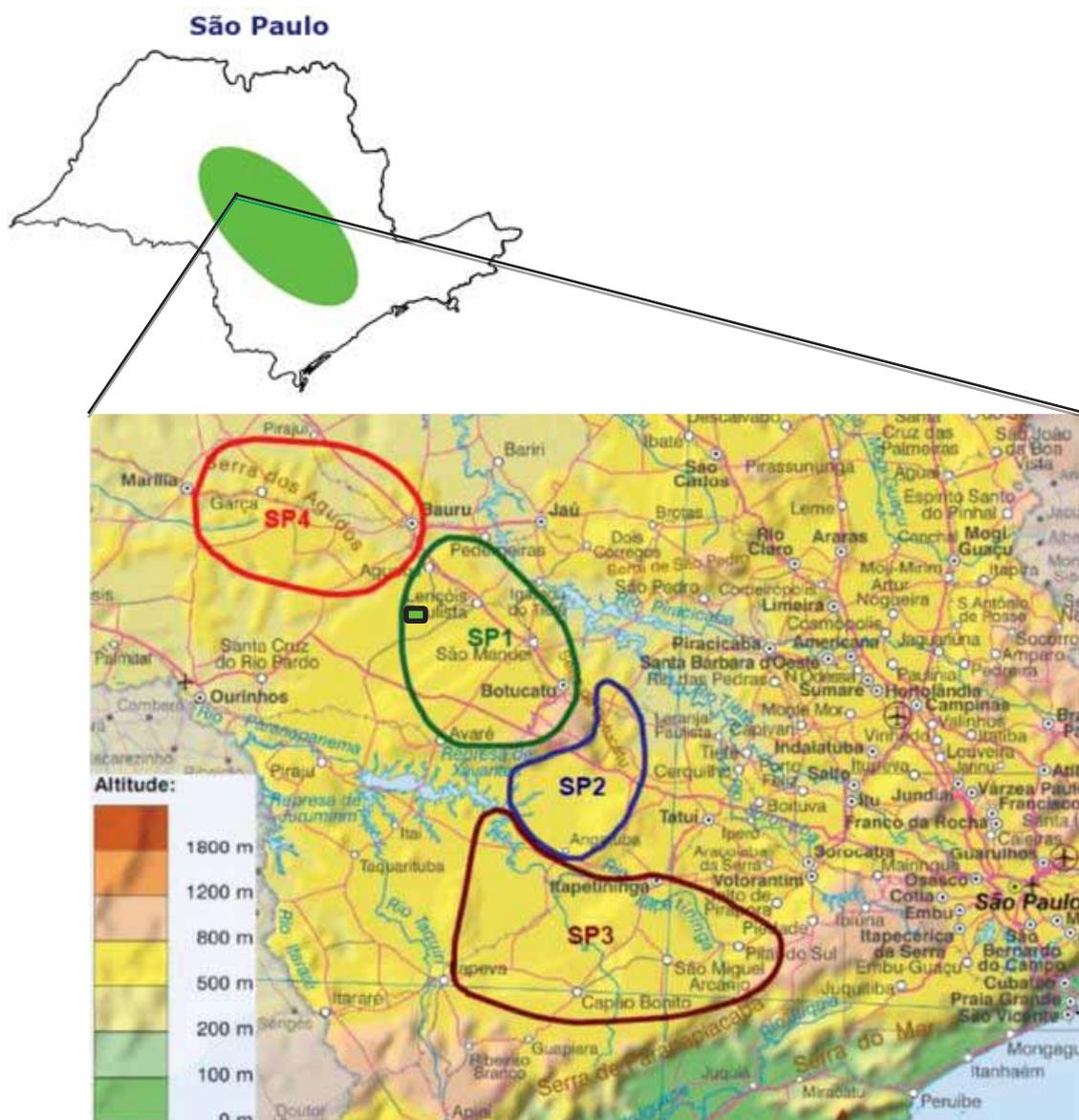


Figura 4 – Distribuição geográfica dos ensaios de espaçamento instalados pela empresa Duraflora S.A.

Fonte: Oliveira (2010)

O preparo de solo para instalação do ensaio foi mecanizado, com subsolagem a 60cm de profundidade e aplicação de herbicida pré-emergente em área total. A adubação de base foi realizada em sulco contínuo, logo em seguida à subsolagem, com uma dosagem de 240kg por hectare de NPK 06:30:10 + 0,5%Zn + 0,5%Cu. As adubações de

cobertura do ensaio seguiram as mesmas recomendadas para os plantios comerciais da região, aos três, seis e nove meses de idade, com variação de 30 dias para mais ou para menos.

O ensaio foi instalado em 22 de julho de 2004 com um clone híbrido entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, produzido a partir de estaquia (clonagem). O plantio foi realizado em época de estiagem, sendo necessária uma irrigação logo após o plantio e realizados três replantios com irrigação, aos 14, 51 e 56 dias após o plantio.

O delineamento estatístico utilizado foi proposto por Nelder (1962), e denominado delineamento sistemático com fator quantitativo contínuo. O ensaio consistiu no plantio das árvores de forma linear, tendo distâncias específicas a partir do centro do ensaio, que proporcionam um aumento gradual no espaçamento entre as árvores, mantendo o espaçamento na entrelinha constante de três metros. O ensaio engloba 16 tratamentos com 40 árvores por tratamento, com espaçamentos variando de  $1,50\text{m}^2$ / árvore (6.667 árvores por hectare) até  $15,75\text{m}^2$ / árvore (635 árvores por hectare). Com este arranjo, o experimento possuiu um total de 480 árvores mensuráveis e ocupou uma área de 0,8ha, conforme apresentado na Figura 5.

Os tratamentos aplicados foram definidos pelo espaçamento inicial, de forma a proporcionar um aumento gradual do espaçamento por árvore, conforme detalhado na Tabela 6.



Figura 5 – Croqui de instalação do experimento sistemático com fator quantitativo contínuo

Tabela 6 - Tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Espaçamento (m) (entre linha x entre árvore)	Área vital (m <sup>2</sup> )
1	3 x 0,50	1,50
2	3 x 0,55	1,65
3	3 x 0,65	1,95
4	3 x 0,75	2,25
5	3 x 0,90	2,70
6	3 x 1,10	3,30
7	3 x 1,35	4,05
8	3 x 1,65	4,95
9	3 x 1,95	5,85
10	3 x 2,25	6,75
11	3 x 2,60	7,80
12	3 x 3,00	9,00
13	3 x 3,40	10,20
14	3 x 3,80	11,40
15	3 x 4,25	12,75
16	3 x 5,25	15,75

### 3.2. Avaliações dendrométricas dos 36 aos 72 meses de idade

O ensaio foi avaliado aos 36, 48, 60 e 72 meses (idade final de corte), por pessoal técnico treinado em mensurações dendrométricas e com fichas próprias para a anotação dos dados. Em cada uma das avaliações foram mensurados dados individuais de todas as árvores referentes ao DAP e altura total. O DAP foi avaliado com auxílio de uma suta, não havendo necessidade de conversão, como ocorre usualmente quando mensurada a circunferência com a fita métrica. As alturas totais, de todas as árvores de cada tratamento foram determinadas com auxílio de um hipsômetro Suunto.

As avaliações foram sempre efetuadas numa mesma sequência de caminhamento dentro das parcelas experimentais, anotando-se as ocorrências de falhas, bifurcações e mortalidade. A falha de plantio era caracterizada pela ausência da árvore já na primeira avaliação, aos 36 meses e a mortalidade era caracterizada como ausência da árvore observada ao longo das avaliações posteriores.

O efeito do espaçamento de plantio pode ser diferente sobre as diversas variáveis dendrométricas tais como diâmetro, altura, volume individual médio e área transversal média.

Assim, a partir das medições de DAP e altura das árvores, foram avaliadas, por tratamento, ao longo dos anos:

- as variações em diâmetro;
- as variações em altura;
- as distribuições de frequências dos diâmetros;
- a área basal por hectare.

Para gerar a distribuição dos diâmetros, os valores de DAP foram agrupados em classes de frequência, sendo que o número de classes foi obtido pela Equação (01) proposta por Sturges.

$$n_c = 1 + 3,3 \log n_1 \quad (01)$$

em que:

$n_c$  – quantidade de classes de diâmetro;

$\log$  – logaritmo decimal;

$n_1$  – quantidade de observações.

O intervalo das classes de diâmetro foi obtido pela Equação (02).

$$I_c = \frac{(d_{m\acute{a}x} - d_{m\grave{i}n})}{n_c} \quad (02)$$

em que:

$I_c$  – intervalo de classe;

$d_{m\acute{a}x}$  – diâmetro máximo;

$d_{m\grave{i}n}$  – diâmetro mínimo.

A área basal do povoamento – somatória das áreas transversais de todas as árvores – foi calculada para cada tratamento a partir da média das áreas transversais ( $\bar{g}$ ) multiplicada pela quantidade de árvores por hectare em cada tratamento, conforme Equação (03).

$$AB = \bar{g} n \quad (03)$$

em que:

$AB$  – área basal do tratamento

$\bar{g}$  – área transversal média de cada tratamento;

$n$  – quantidade de árvores por hectare

### 3.3. Avaliações do volume e densidade básica da madeira aos 72 meses de idade

Utilizando a metodologia proposta por Downes et al. (1997), o número de árvores amostradas para caracterização da Db foi estabelecido calculando-se o  $n$  amostral de cada tratamento. De acordo com os estudos de Downes, para um intervalo de confiança de  $\pm 5\%$ , são necessárias 3,9 árvores, enquanto para um intervalo de confiança de  $\pm 10\%$ , 2,9 árvores são suficientes para estimativa da Db da madeira por tratamento.

Aos 72 meses de idade foram amostradas e derrubadas três árvores de cada tratamento para determinação das seguintes propriedades:

- volume individual por árvore e por hectare
- densidade básica da madeira e, com base nessas propriedades, foi estimada a biomassa do fuste, até o diâmetro mínimo de 4cm, por árvore e por hectare, em cada tratamento.

Na amostragem para determinação do volume por árvore foram adotados os seguintes critérios de seleção dos indivíduos:

- a) Com base nos diâmetros individuais das árvores, foi calculada a média dos diâmetros à altura do peito (DAP) para cada tratamento;
- b) A partir deste critério, foram excluídos todos os indivíduos que apresentaram falhas ao seu lado; assim, somente foram selecionadas as árvores que sofreram um processo normal de competição dentro do povoamento;
- c) Em cada tratamento, conforme já mencionado, foram amostradas as três árvores que tinham DAP mais próximo do DAP médio do tratamento, totalizando 48 árvores distribuídas na área do ensaio.
- d) As árvores selecionadas foram derrubadas e as medidas de diâmetro foram tomadas de metro em metro, da base de corte até o diâmetro mínimo de quatro centímetros, calculando-se o volume de cada seção pela fórmula proposta por Smalian em 1807.

Seguindo este procedimento, os diâmetros foram medidos nas extremidades de cada seção e o volume de cada seção foi calculado de acordo com as Equações de (04 a 06) (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006), como segue:

$$v_s = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \ell \quad (04)$$

em que:

$$g_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (05)$$

$$g_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \quad (06)$$

e:

$v$  - volume da seção

$g_1$  - área transversal na base da seção

$g_2$  - área transversal no topo da seção

$\ell$  - comprimento da seção

$d_1$  - diâmetro com casca na base da seção

$d_2$  - diâmetro com casca no topo da seção

Quando considerado o volume inteiro do fuste, é comum calcular-se o volume da última seção ou volume da ponta ( $v_p$ ) assumindo o formato de um cone, conforme Equação 07.

$$v_p = \frac{g_n \ell_p}{3} \quad (07)$$

Assim, o volume do fuste da árvore ( $v$ ) foi obtido pelo somatório dos volumes das “ $n$ ” seções ao longo da altura total da árvore, que neste caso se expressa pela Equação 08.

$$v = \left[ \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \ell \right] + \left[ \left( \frac{g_2 + g_3}{2} \right) \ell \right] + \dots + \left[ \left( \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \right) \ell \right] + v_p \quad (08)$$

Para estimativa do volume total por hectare, o volume da árvore representativa de cada tratamento foi extrapolado pelo número de árvores por hectare (lotação/ha) para os tratamentos avaliados (Tabela 7).

Tabela 7 – Lotação por hectare nos tratamentos

<b>Tratamento</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Lotação/ha</b>
1	3 x 0,50	6.667
2	3 x 0,55	6.061
3	3 x 0,65	5.128
4	3 x 0,75	4.444
5	3 x 0,90	3.704
6	3 x 1,10	3.030
7	3 x 1,35	2.469
8	3 x 1,65	2.020
9	3 x 1,95	1.709
10	3 x 2,25	1.481
11	3 x 2,60	1.282
12	3 x 3,00	1.111
13	3 x 3,40	980
14	3 x 3,80	877
15	3 x 4,25	784
16	3 x 5,25	635

As amostras de madeira para determinação da Db foram retiradas das mesmas árvores cubadas para determinação do volume, ou seja, 48 árvores amostradas aos 72 meses de idade, sendo três árvores de cada tratamento. Primeiramente, a árvore foi dividida em três seções de alturas correspondentes a 25% da altura total da árvore e foi retirado um disco de cinco centímetros de espessura, no meio de cada seção, ou seja, a 12,5%, 37,5% e 62,5% da altura total da árvore (Figura 6).

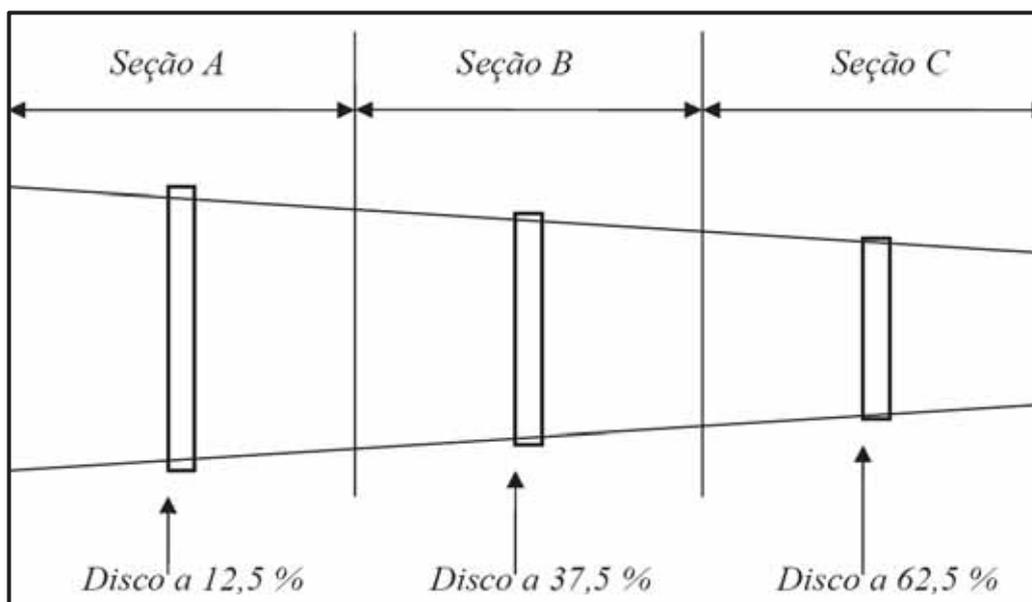


Figura 6 – Divisão das seções do fuste e amostragem dos discos

Fonte: Costa (2006), modificado pelo autor

Esta amostragem, sugerida por Costa (2006), apresentou resultados satisfatórios para a estimativa da densidade básica ponderada da madeira de cada árvore, sendo considerada mais rápida e menos onerosa, em função da redução no número de discos por árvore. Segundo o mesmo autor, a redução de dois discos na amostragem, um da base e o outro do topo da árvore, implica em resultados mais próximos do real. A base da árvore muitas vezes apresenta um alargamento do diâmetro devido à transição do caule para a raiz; no topo, devido ao seu tamanho reduzido, a espessura do disco chega a ser maior do que o seu diâmetro, alterando a forma da amostra do disco para um cilindro.

A densidade básica ponderada da madeira de cada árvore ( $Db_{POND}$ ) foi calculada utilizando-se a Equação 09.

$$Db_{POND} = \frac{A_A Db_A + A_B Db_B + A_C Db_C}{A_A + A_B + A_C} \quad (09)$$

em que:

$Db_{POND}$  – densidade básica ponderada da madeira de cada árvore

$A$  – área transversal do disco representativo de cada seção ( $A$ ,  $B$  e  $C$ )

$Db$  – densidade do disco representativo de cada seção ( $A$ ,  $B$  e  $C$ )

O procedimento utilizado para determinação da Db dos discos de madeira foi o método de deslocamento de água, de acordo com a sequência a seguir:

a) Os discos, ainda em campo, foram identificados quanto à posição de retirada no percentual da altura da árvore e quanto ao tratamento (Figura 8); posteriormente foram embalados individualmente em sacos plásticos com água, para posterior encaminhamento para laboratório;



Figura 7 – Identificação dos discos e acondicionamento das amostras

b) No laboratório, os discos foram mantidos em um recipiente com água até que afundassem, sendo assim constatada as suas saturações completas;

c) Após a saturação do disco, a casca foi retirada (Figura 8) e ele foi fixado em um suporte para imersão, de modo a permanecer totalmente submerso e sem contato com a parede ou fundo do recipiente;



Figura 8 – Retirada da casca, fixação do disco no suporte seguido da imersão em água

- d) O valor registrado na balança é numericamente igual ao volume saturado da madeira sem casca, e foi registrado como PID;
- e) Posteriormente, a casca foi fixada no suporte para imersão e o mesmo procedimento descrito no item (c) foi realizado para a casca;
- f) O valor registrado na balança para casca foi registrado como PIC;
- g) Os discos e a casca foram secados em estufa a 105°C, até atingir peso constante;
- h) No material seco, as massas foram coletadas individualmente para o disco (PSM) e sua respectiva casca (PSC).

A densidade básica dos discos foi calculada de acordo com as Equações de (10 a 12).

$$Db_{cc} = \frac{PSM + PSC}{PID + PIC} \quad (10)$$

em que:

$Db_{cc}$  - densidade básica da madeira com casca, em g/cm<sup>3</sup>;

$PSM$  - peso seco do disco sem casca, em g;

$PSC$  - peso seco da casca, em g;

$PID$  - peso imerso do disco sem casca, em g;

$PIC$  - peso imerso da casca, em g;

$$Db_{sc} = \frac{PSM}{PID} \quad (11)$$

em que:

$Db_{sc}$  - densidade básica da madeira sem casca, em g/cm<sup>3</sup>;

$$Db_c = \frac{PSC}{PIC} \quad (12)$$

em que:

$Db_c$  - densidade básica da casca, em g/cm<sup>3</sup>;

Além disso, para cada disco foram calculados os percentuais de casca em termos volumétricos e de massa, conforme apresentado nas Equações (13) e (14).

$$TVC = \frac{PIC}{PID + PIC} \times 100 \quad (13)$$

em que:

$TVC$  – teor volumétrico em porcentagem de casca;

$$TGC = \frac{PSC}{PSM + PSC} \times 100 \quad (14)$$

em que:

$TGC$  – teor gravimétrico em porcentagem de casca;

Neste trabalho, a biomassa do fuste por hectare, foi, por fim, determinada, para cada tratamento multiplicando-se o volume por hectare pela densidade básica da madeira.

### 3.4. Análise estatística

Previamente, os dados obtidos foram analisados pelo Teste de Levene (LEVENE, 1960) para verificação da homogeneidade das variâncias dos tratamentos. Em função da ausência de casualização dos delineamentos sistemáticos e de não se deixarem bordaduras entre os tratamentos, percebe-se que, de fato, ele não pode ser analisado como se fosse um delineamento aleatório (MEAD, 1988 apud STAPE, 1995). Porém, a existência dos fatores quantitativos crescentes, mesmo que alocados em arranjo sistemático, sugerem o uso de análise de regressão (NELDER, 1962; NAMKOONG, 1966), que foi aqui também adotado.

Na Tabela 8 são apresentados os modelos ajustados para as variáveis: DAP, altura, volume individual, densidade básica da madeira e biomassa do fuste da árvore.

Tabela 8 - Modelos de resposta ao espaçamento, testados para as variáveis: DAP, altura, volume individual, densidade básica da madeira e biomassa do fuste da árvore

AUTOR	MODELOS	EQUAÇÃO
Von Bertalanffy	$y = \beta_0 (1 - \beta_1^{-\beta_2 x})^3$	(15)
Chapman-Richards	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 x})^{\beta_2}$	(16)
Weibull	$y = \beta_0 (1 - e^{(-\beta_1 x^{\beta_2})})$	(17)
Gompertz	$y = \beta_0^{(-e^{(\beta_1 - \beta_2 x)})}$	(18)
Brody	$y = \beta_0 (1 - e^{(-\beta_1 - \beta_2 x)})$	(19)
Logística	$y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{(-\beta_2 x)})}$	(20)

Em que: y= DAP, altura, volume individual, densidade básica da madeira e biomassa do fuste da árvore; x= área vital por tratamento;  $\beta_i$ = parâmetros da equação.

Na Tabela 9 encontram-se os modelos utilizados para ajustar os dados que apresentam resposta inversa ao aumento do espaçamento: volume por hectare, biomassa do fuste por hectare e percentual do volume de casca em função do espaçamento.

Tabela 9 - Modelos ajustados para os dados que apresentam resposta inversa ao aumento do espaçamento: volume por hectare, biomassa do fuste por hectare e percentual de casca

MODELOS	FUNÇÃO	EQUAÇÃO
Exponencial	$y = \beta_0 e^{\beta_1 x}$	(21)
Hiperbólico	$y = \frac{\beta_0}{x^{\beta_1}}$	(22)

Em que:  $y$ = volume por hectare, biomassa do fuste por hectare e percentual de casca;  $x$ = área vital por tratamento;  $\beta_i$ = parâmetros da equação.

A seleção do melhor modelo para cada variável dependente analisada foi baseada nos seguintes critérios (SCOLFORO, 2005):

1) A equação ser representativa para os dados dos quais ela foi obtida. Esta representação foi determinada pelo coeficiente de determinação ajustado  $R^2_{Ajust.}$  (Equação 23), estimativa do erro padrão dos resíduos absoluto  $S_{yx}$  (Equação 24), e relativo  $S_{yx} \%$  (Equação 25).

$$R^2_{Ajust} = 1 - \left[ \frac{(n-1)}{n-p-1} (1 - R^2) \right] \quad (23)$$

em que:

$R^2_{Ajust}$  – coeficiente de determinação ajustado

$n$  – número de observações

$p$  – número de variáveis independentes

$R^2$  – coeficiente de determinação

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{Erro}} \quad (24)$$

em que:

$S_{yx}$  – erro padrão dos resíduos absoluto

$QM_{Erro}$  – quadrado médio dos erros

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (25)$$

em que:

$S_{yx\%}$  – erro padrão dos resíduos relativo

$\bar{Y}$  – média do valor observado

2) O valor do resíduo (Equação 26) deve ser razoavelmente uniforme sobre a faixa dos dados quando representada contra os valores observados ou contra os valores estimados. A análise gráfica dos resíduos tem por objetivo verificar a existência ou não de tendenciosidade nas estimativas fornecidas pelo modelo.

$$Res\% = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (26)$$

em que:

$Y_i$  – valor dos dados observados

$\hat{Y}_i$  – valor dos dados estimados

Em função da ocorrência de falhas e mortalidade de algumas árvores no delineamento sistemático, as árvores vizinhas passaram a ter uma área disponível de crescimento diferente daquela inicialmente estabelecida para os tratamentos. Como estas ocorrências foram poucas e aleatórias dentro do experimento, optou-se por eliminar da análise experimental todas as árvores vizinhas a estas falhas ou mortes, como propõe Gomez e Dedatta (1972), ao invés de buscar uma correção dos valores observados das variáveis em estudo através de análise de covariância conforme recomenda Land e Nance (1987).

Como as falhas, morte e bifurcações não ocorreram de forma idêntica em todos os tratamentos, padronizou-se o número de árvores totais por tratamento pela situação mais crítica, que foi a perda de oito árvores no Tratamento 1, restando portanto 32 árvores por tratamento, das 40 originais. Portanto, para a padronização de 32 árvores por tratamento, fez-se necessário, por sorteio, a exclusão de diferente número de árvores por tratamento (Tabela 10).

Tabela 10 – Árvores eliminadas da análise experimental devido à falha ou morte, sua ou de árvores vizinhas, à bifurcação e árvores sorteadas para padronizar em 32 o número total de árvores por tratamento

<b>Tratamento</b>	<b>Falhas/Mortes</b>	<b>Bifurcadas</b>	<b>Sorteio</b>
1	2 - 27 - 28 - 40 - 12 - 18	33 - 16	
2	1 - 23 - 29 - 11	6 - 14	17 - 35
3	08 - 33	35	19 - 14 - 25 - 1 - 37
4	22 - 25 - 28 - 31		5 - 38 - 2 - 11
5	18 - 34	37	15 - 19 - 23 - 1 - 8
6	24		3 - 11 - 20 - 12 - 34 - 36 - 40
7	31 - 2 - 14		21 - 04 - 25 - 39 - 16
8	1 - 7 - 22 - 19	40 - 16	15 - 24
9	7 - 30 - 16		3 - 32 - 24 - 18 - 11
10	1 - 05 - 20 - 27	21 - 37 - 29	34
11	26 - 27 - 3 - 18 - 11	33	1 - 16
12	2 - 21 - 34		30 - 12 - 8 - 27 - 31
13	22 - 26 - 29 - 34		10 - 18 - 25 - 19
14	11 - 16 - 34	6	21 - 25 - 12 - 3
15	20		10 - 15 - 24 - 32 - 33 - 1 - 27
16	01 - 06		08 - 28 - 9 - 17 - 31 - 37

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Crescimento do plantio de 36 a 72 meses de idade

#### 4.1.1. Variações em diâmetro

A Tabela 11 apresenta alguns resultados estatísticos para o diâmetro a altura do peito, referentes à média, diâmetros máximo e mínimo por tratamento e seus respectivos coeficientes de variação e desvio padrão.

Tabela 11 - Resultados estatísticos para o DAP ao longo do tempo

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			DAP (cm)			
Média	1	3 x 0,50	5,84	7,29	7,99	8,67
Mínimo			3,50	4,00	4,40	4,90
Máximo			8,60	10,30	11,30	12,90
Desvio Padrão			1,43	1,78	1,91	2,11
C.V. (%)			24%	24%	24%	24%
Média	2	3 x 0,55	5,93	7,59	8,11	8,70
Mínimo			4,20	4,30	4,30	5,50
Máximo			8,90	10,50	11,40	12,60
Desvio Padrão			1,07	1,56	1,86	2,01
C.V. (%)			18%	21%	23%	23%

Tabela 11 - Resultados estatísticos para o DAP ao longo do tempo (cont.)

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			DAP (cm)			
Média			6,55	7,63	8,35	9,22
Mínimo			5,30	5,30	5,60	5,90
Máximo	<b>3</b>	<b>3 x 0,65</b>	10,20	12,40	13,60	16,00
Desvio Padrão			1,30	1,90	2,21	2,84
C.V. (%)			20%	25%	27%	31%
Média			7,01	8,68	9,38	10,07
Mínimo			5,30	5,40	5,40	5,60
Máximo	<b>4</b>	<b>3 x 0,75</b>	10,40	12,00	13,10	15,40
Desvio Padrão			1,11	1,60	1,90	2,50
C.V. (%)			16%	18%	20%	25%
Média			7,91	9,62	10,31	11,02
Mínimo			7,30	8,20	8,50	8,70
Máximo	<b>5</b>	<b>3 x 0,90</b>	10,80	12,90	14,10	16,10
Desvio Padrão			0,90	1,24	1,51	2,17
C.V. (%)			11%	13%	15%	20%
Média			8,08	9,74	10,46	11,31
Mínimo			6,40	7,00	8,00	8,90
Máximo	<b>6</b>	<b>3 x 1,10</b>	11,50	14,00	15,20	17,40
Desvio Padrão			1,24	1,70	1,96	2,55
C.V. (%)			15%	17%	19%	23%
Média			8,29	10,81	12,17	13,07
Mínimo			7,10	7,90	8,00	8,10
Máximo	<b>7</b>	<b>3 x 1,35</b>	14,00	15,00	16,20	17,70
Desvio Padrão			1,56	1,81	2,20	2,44
C.V. (%)			19%	17%	18%	19%
Média			8,75	11,71	12,50	13,79
Mínimo			7,80	8,90	9,50	10,50
Máximo	<b>8</b>	<b>3 x 1,65</b>	12,10	15,00	16,40	18,30
Desvio Padrão			1,24	1,63	1,81	2,23
C.V. (%)			14%	14%	15%	16%
Média			9,02	12,11	13,06	14,23
Mínimo			8,00	10,40	11,00	11,60
Máximo	<b>9</b>	<b>3 x 1,95</b>	13,60	16,20	17,40	20,10
Desvio Padrão			1,22	1,41	1,51	2,03
C.V. (%)			14%	12%	12%	14%

Tabela 11 - Resultados estatísticos para o DAP ao longo do tempo (cont.)

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			DAP (cm)			
Média			9,73	13,08	14,17	15,42
Mínimo			9,80	11,40	11,90	12,20
Máximo	<b>10</b>	<b>3 x 2,25</b>	13,90	16,80	18,50	21,10
Desvio Padrão			1,10	1,45	1,70	2,20
C.V. (%)			11%	11%	12%	14%
Média			10,94	13,36	14,43	15,62
Mínimo			9,70	11,40	13,00	13,60
Máximo	<b>11</b>	<b>3 x 2,60</b>	14,00	16,50	17,80	20,00
Desvio Padrão			0,94	1,17	1,10	1,38
C.V. (%)			9%	9%	8%	9%
Média			11,36	14,35	15,60	17,03
Mínimo			10,00	11,90	12,50	13,20
Máximo	<b>12</b>	<b>3 x 3,00</b>	14,90	18,30	19,30	22,00
Desvio Padrão			1,26	1,67	1,86	2,34
C.V. (%)			11%	12%	12%	14%
Média			11,83	15,18	16,75	18,41
Mínimo			5,00	5,20	14,90	16,20
Máximo	<b>13</b>	<b>3 x 3,40</b>	15,60	18,40	19,90	22,50
Desvio Padrão			1,83	2,37	1,44	1,84
C.V. (%)			15%	16%	9%	10%
Média			12,35	15,47	16,92	18,50
Mínimo			11,20	13,90	15,50	16,40
Máximo	<b>14</b>	<b>3 x 3,80</b>	15,40	18,90	20,20	22,30
Desvio Padrão			1,10	1,41	1,43	1,86
C.V. (%)			9%	9%	8%	10%
Média			12,81	16,31	18,29	19,89
Mínimo			10,00	14,00	16,10	17,00
Máximo	<b>15</b>	<b>3 x 4,25</b>	16,00	19,00	21,80	23,00
Desvio Padrão			1,31	1,47	1,49	1,75
C.V. (%)			10%	9%	8%	9%
Média			13,02	17,09	19,05	20,91
Mínimo			11,40	14,40	15,70	16,80
Máximo	<b>16</b>	<b>3 x 5,25</b>	17,00	19,30	21,90	23,40
Desvio Padrão			1,37	1,43	1,64	1,92
C.V. (%)			10%	8%	9%	9%

O Tratamento 3 - 3x0,65m apresentou a maior dispersão dos resultados para o diâmetro à altura do peito, com coeficiente de variação aos 72 meses de 31%, seguido dos Tratamentos 1 - 3x0,50m e Tratamento 2 - 3x0,55m, com 24% e 23% respectivamente. Esta elevada variação com relação à média também foi observada por Stape (1995), que averiguou um comportamento semelhante nas variáveis mensuradas por ele, identificando-as como variáveis perturbadas e que por essa razão, foram eliminadas naquele trabalho.

A Tabela 12 e as Figuras 9 e 10 sintetizam a evolução do crescimento em diâmetro de 36 a 72 meses.

Tabela 12 – Evolução do DAP ao longo do tempo para os tratamentos

Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
		36	48	60	72
		DAP (cm)			
1	3 x 0,50	5,84	7,29	7,99	8,67
2	3 x 0,55	5,93	7,59	8,11	8,70
3	3 x 0,65	6,55	7,63	8,35	9,22
4	3 x 0,75	7,01	8,68	9,38	10,07
5	3 x 0,90	7,91	9,62	10,31	11,02
6	3 x 1,10	8,08	9,74	10,46	11,31
7	3 x 1,35	8,29	10,81	12,17	13,07
8	3 x 1,65	8,75	11,71	12,50	13,79
9	3 x 1,95	9,02	12,11	13,06	14,23
10	3 x 2,25	9,73	13,08	14,17	15,42
11	3 x 2,60	10,94	13,36	14,43	15,62
12	3 x 3,00	11,36	14,35	15,60	17,03
13	3 x 3,40	11,83	15,18	16,75	18,41
14	3 x 3,80	12,35	15,47	16,92	18,50
15	3 x 4,25	12,81	16,31	18,29	19,89
16	3 x 5,25	13,02	17,09	19,05	20,91

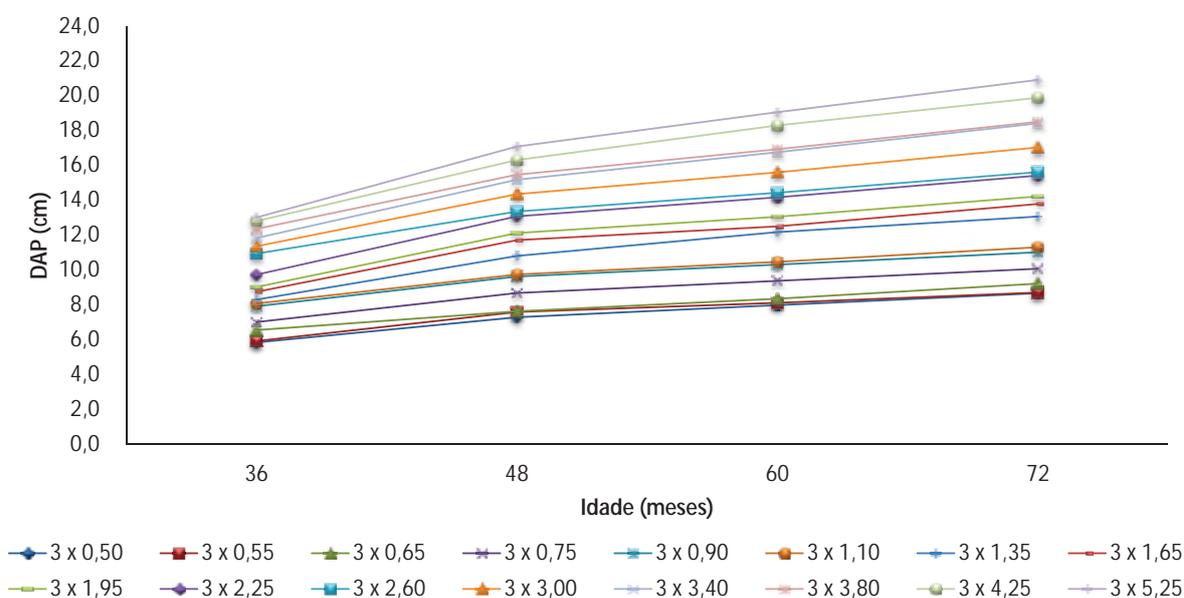


Figura 9 – Diâmetro médio com casca das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo

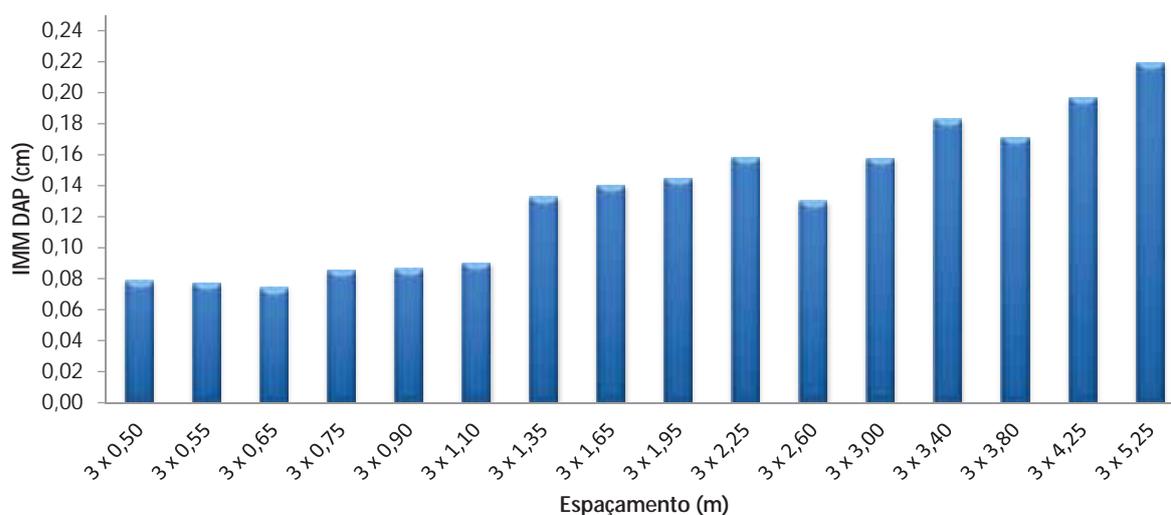


Figura 10 – Incremento médio mensal (IMM) do DAP das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo

Com base nos dados apresentados e, para esclarecer de forma didática a discussão dos resultados, optou-se por dividir os tratamentos em três grupos:

- Espaçamento adensado: que caracteriza os Tratamentos de 1 a 6;
- Espaçamento convencional: que caracteriza os Tratamentos de 7 a 11, amplamente utilizados pelas empresas florestais;
- Espaçamento amplo: que caracteriza os Tratamentos de 12 a 16

A partir da primeira medição, aos 36 meses de idade, já foi possível identificar claramente que com o aumento do espaçamento de plantio, maior era o diâmetro médio das árvores em cada tratamento. Nas Figuras 9 e 10 observa-se que este comportamento se repetiu ao longo do tempo e se intensificou a partir dos 48 meses, evidenciando um maior crescimento nos espaçamentos com maior área vital por árvore; o que confirma estudos semelhantes desenvolvidos por Schneider (2008), Morais (2006), Oliveira Neto (2003), Garcia et al. (1991) e Ladeira (1999).

Conforme apresentado na Figura 9 os espaçamentos adensados - Tratamentos de 1 a 6 proporcionaram os menores diâmetros médios ao longo da idade de medição, sendo representados pelas linhas que se mantêm na parte inferior do gráfico. A partir do Tratamento 7 - 3x1,35m a variação do crescimento foi intensificada, evidenciando que a maior área vital por árvore refletiu no seu maior potencial de desenvolvimento.

Na Figura 10, o incremento médio mensal (IMM) do DAP ilustra o crescimento em diâmetro de cada tratamento ao longo do período de acompanhamento. Como a primeira medição do ensaio foi aos 36 meses, não se sabe necessariamente qual foi o comportamento dos tratamentos anteriormente a esta idade, por este motivo, o incremento mensal foi expresso apenas em função do intervalo de medição do ensaio, ou seja, dos 36 aos 72 meses. Na Figura 10 pode-se observar que o incremento médio mensal do diâmetro apresentou uma relação direta com o aumento do espaçamento de plantio, assim como observado na média dos diâmetros, apresentada na Figura 9. Os maiores incrementos mensais ocorreram nos espaçamentos amplos - Tratamentos 12 a 16, confirmando os estudos desenvolvidos por Müller et al. (2005). Com isso, nota-se que o incremento médio mensal apresenta uma relação direta com o aumento do espaçamento de plantio.

#### **4.1.2. Distribuição dos diâmetros**

A partir das medições dos diâmetros aos 36, 48, 60 e 72 meses, cada tratamento foi agrupado em classes de frequência para gerar a distribuição dos diâmetros. Assim, para cada idade foram estabelecidas classes de diâmetro (Equação 01) e o intervalo das classes (Equação 02) que atendessem a distribuição real dos dados em cada idade (Tabela 13).

Tabela 13 – Classes e amplitude do diâmetro médio das árvores nos tratamentos avaliados ao longo do tempo

Meses							
36		48		60		72	
Classe	Amplitude	Classe	Amplitude	Classe	Amplitude	Classe	Amplitude
1	4  --- 6	1	4  --- 7	1	4  --- 7	1	4  --- 7
2	6  --- 8	2	7  --- 10	2	7  --- 10	2	7  --- 10
3	8  --- 10	3	10  --- 13	3	10  --- 13	3	10  --- 13
4	10  --- 12	4	13  --- 16	4	13  --- 16	4	13  --- 16
5	12  --- 14	5	16  --- 19	5	16  --- 19	5	16  --- 19
6	14  --- 16	6	19  --- 22	6	19  --- 22	6	19  --- 22
7	16  --- 18	6	19  --- 22	7	22  --- 25	7	22  --- 25

A Figura 11 apresenta a frequência de indivíduos nas suas respectivas classes diamétricas para os 16 tratamentos nas quatro idades de avaliação e o aumento da idade proporcionou maiores amplitudes de classe.

A distribuição do número de árvores por classe de diâmetro nos espaçamentos adensados - Tratamentos 1 a 6, apresentou uma tendência de assimetria positiva na curva de tendência. Nestes espaçamentos, há maior competição entre os indivíduos pelos recursos disponíveis e, menor área vital para o desenvolvimento da árvore, o que favorece a ocorrência de árvores com diâmetros menores nos intervalos de classe mais baixos (Figura 11).

Os espaçamentos amplos - Tratamentos 12 a 16, onde a área vital por árvore é maior, há uma maior disponibilidade de recursos para cada indivíduo, favorecendo o incremento em diâmetro e, deslocando a frequência de indivíduos para as maiores classes de diâmetro, que demonstra uma tendência de assimetria negativa na curva. Já nos povoamentos mais densos, há predominância de árvores de menores diâmetros.

Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo

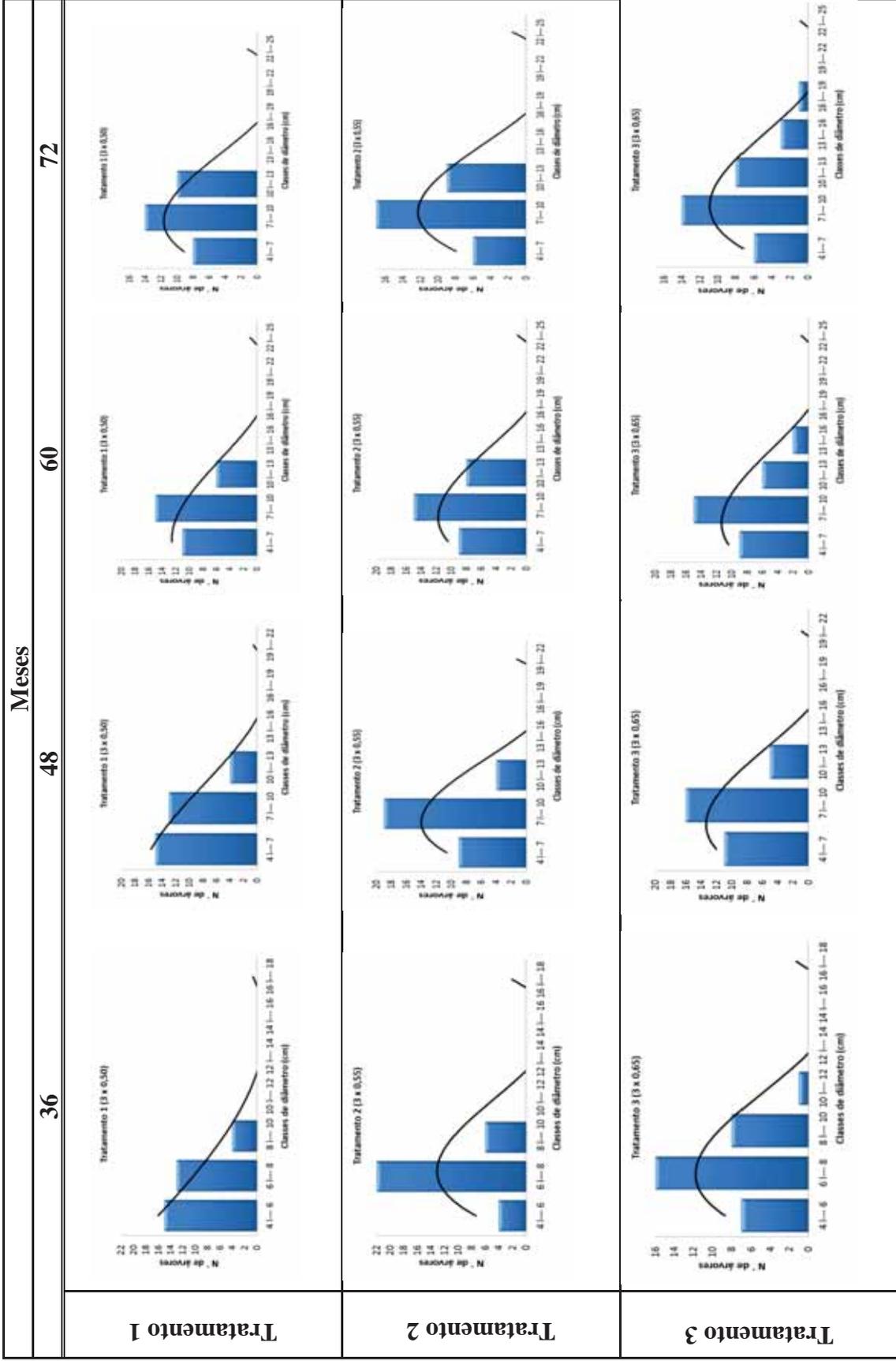


Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo (cont.)

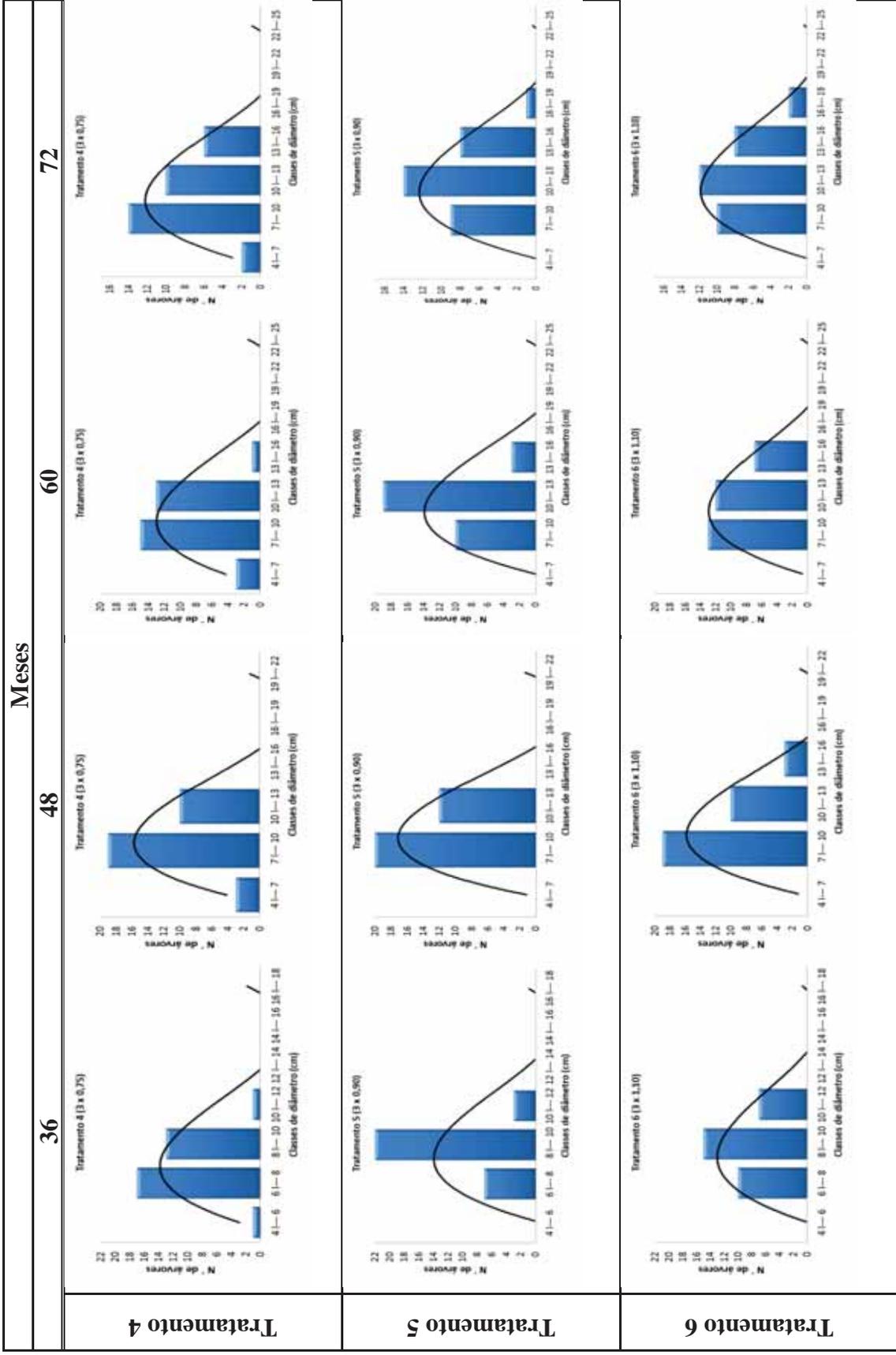


Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo (cont.)

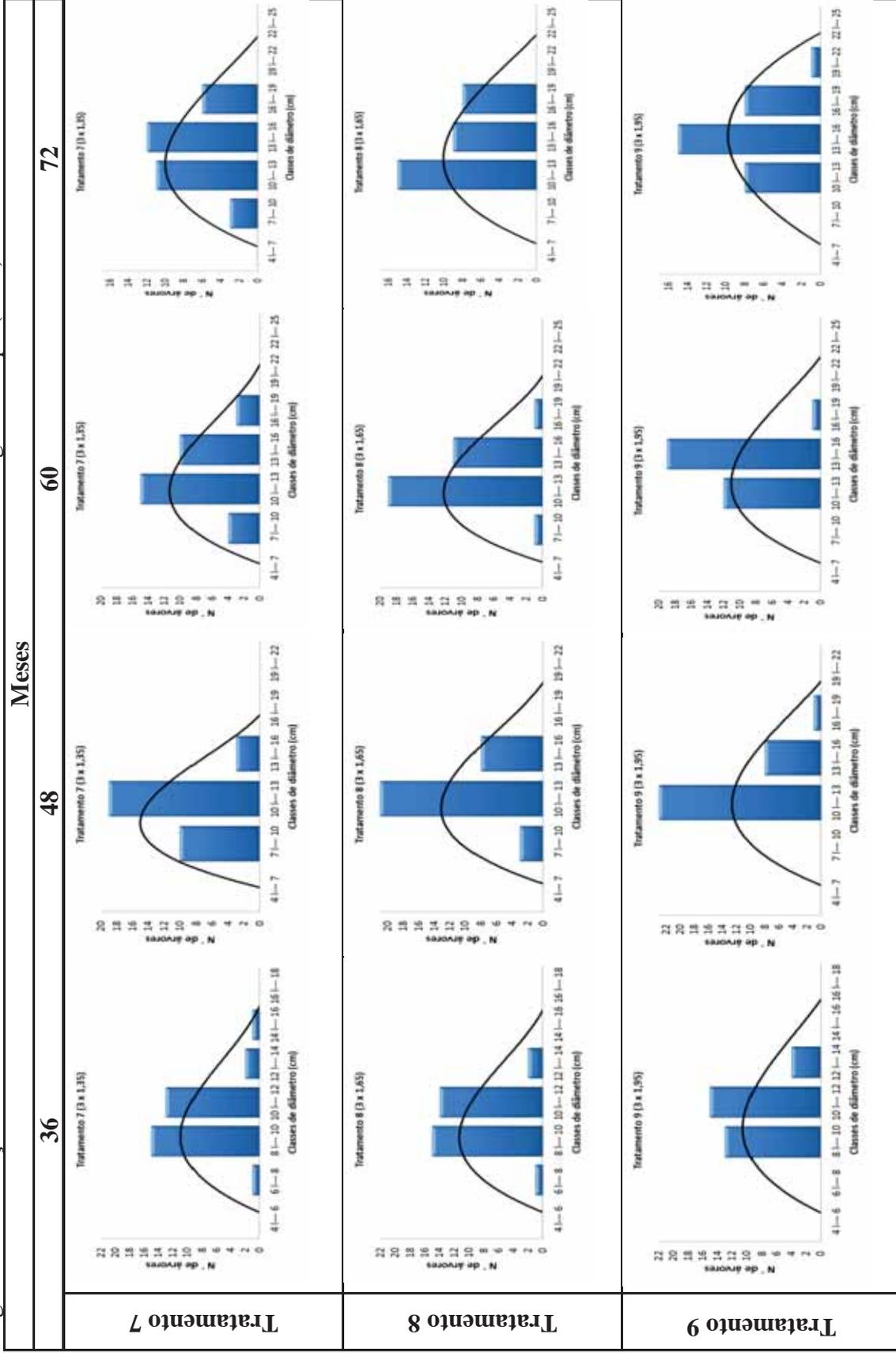


Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo (cont.)

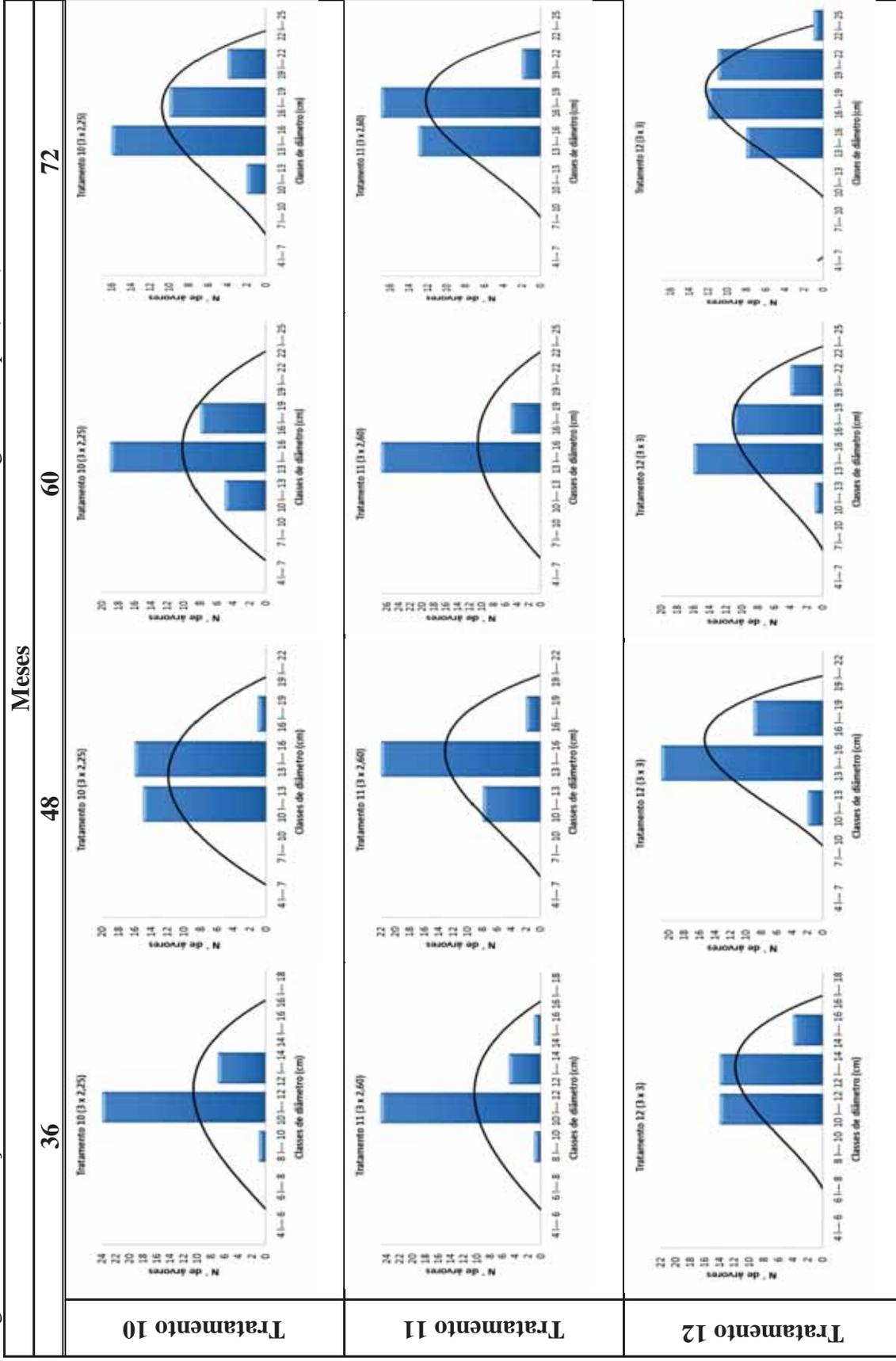


Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo (cont.)

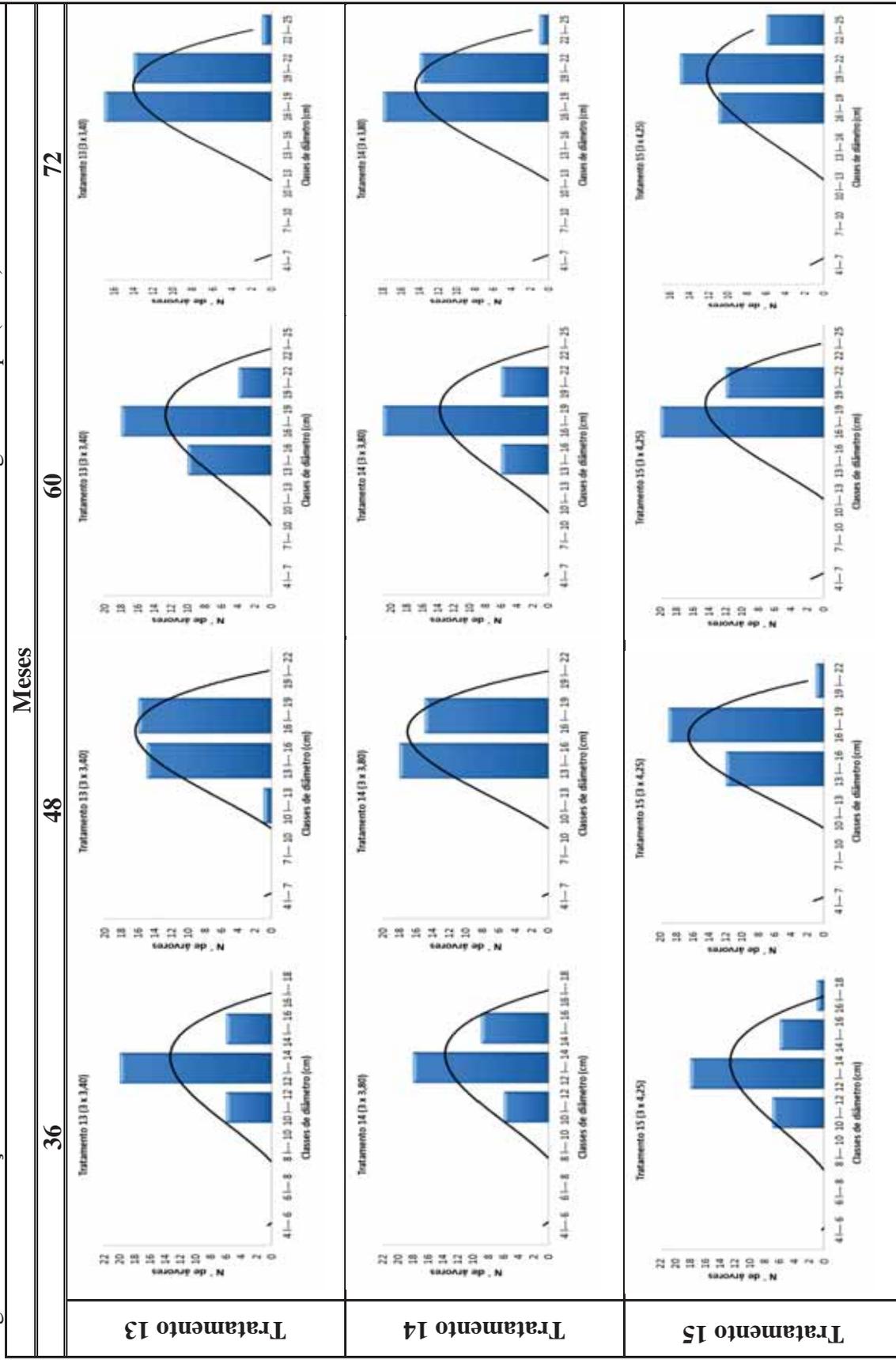
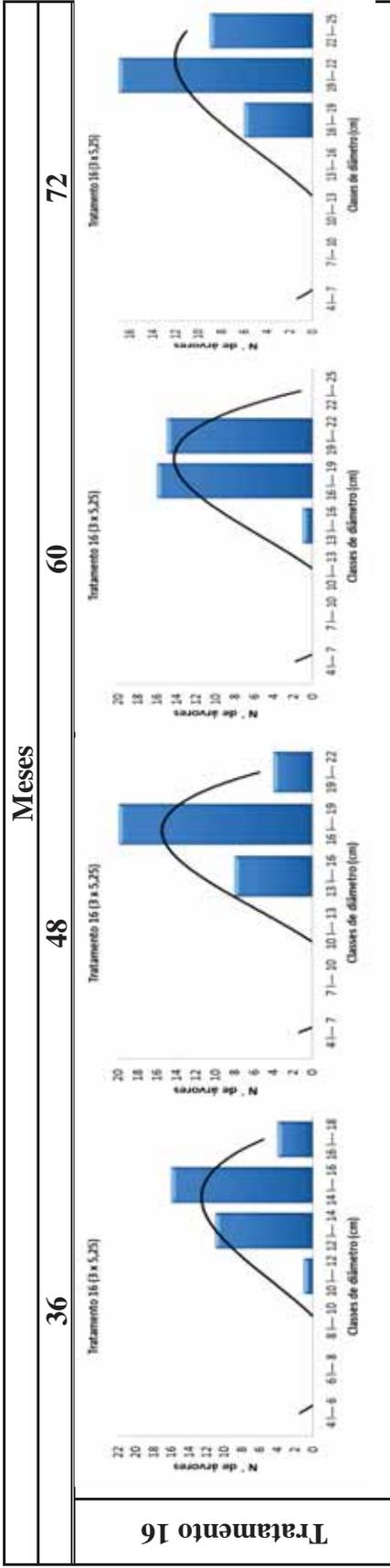


Figura 11 – Evolução do diâmetro médio com casca das árvores nos tratamentos ao longo do tempo (cont.)



### 4.1.3. Variações em altura

A Tabela 14 apresenta alguns resultados estatísticos para a altura, referentes à média, altura máxima e mínima dentro de cada tratamento e seus respectivos coeficientes de variação e desvio padrão.

Tabela 14 – Resultados estatísticos para a altura das árvores ao longo do tempo

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			Altura (m)			
Média			10,51	12,93	15,07	17,10
Mínimo			6,00	8,50	12,00	12,40
Máximo	<b>1</b>	<b>3 x 0,50</b>	13,00	14,50	18,00	21,00
Desvio Padrão			1,74	1,37	1,53	2,43
C.V. (%)			17%	11%	10%	14%
Média			10,54	13,19	15,42	17,65
Mínimo			9,00	9,00	10,00	12,50
Máximo	<b>2</b>	<b>3 x 0,55</b>	15,00	17,50	19,00	23,00
Desvio Padrão			1,53	1,88	2,02	2,80
C.V. (%)			14%	14%	13%	16%
Média			11,65	13,37	15,71	18,31
Mínimo			10,00	11,00	13,00	12,50
Máximo	<b>3</b>	<b>3 x 0,65</b>	14,50	18,00	19,00	23,00
Desvio Padrão			1,14	1,53	2,03	3,03
C.V. (%)			10%	11%	13%	17%
Média			11,72	13,85	16,52	19,23
Mínimo			9,00	10,00	13,00	13,00
Máximo	<b>4</b>	<b>3 x 0,75</b>	16,00	19,00	20,00	24,50
Desvio Padrão			1,94	2,31	1,79	3,08
C.V. (%)			17%	17%	11%	16%
Média			12,37	14,50	17,88	20,13
Mínimo			9,00	11,00	16,00	16,00
Máximo	<b>5</b>	<b>3 x 0,90</b>	15,00	18,00	20,00	26,00
Desvio Padrão			1,29	1,50	1,18	2,22
C.V. (%)			10%	10%	7%	11%

Tabela 14 – Resultados estatísticos para a altura das árvores ao longo do tempo (cont.)

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			Altura (m)			
Média			12,39	14,90	18,68	21,65
Mínimo			10,00	10,50	15,00	15,50
Máximo	<b>6</b>	<b>3 x 1,10</b>	16,00	18,50	20,50	27,00
Desvio Padrão			1,54	1,94	1,31	2,85
C.V. (%)			12%	13%	7%	13%
Média			12,42	15,72	19,79	22,46
Mínimo			12,80	13,00	16,80	17,00
Máximo	<b>7</b>	<b>3 x 1,35</b>	17,00	18,00	22,00	27,00
Desvio Padrão			1,05	1,24	1,30	2,16
C.V. (%)			8%	8%	7%	10%
Média			12,90	16,00	20,28	23,34
Mínimo			13,00	12,50	16,00	18,00
Máximo	<b>8</b>	<b>3 x 1,65</b>	16,50	18,50	23,00	27,00
Desvio Padrão			0,83	1,42	1,38	2,34
C.V. (%)			6%	9%	7%	10%
Média			13,30	16,31	20,89	24,17
Mínimo			12,00	12,50	19,00	21,50
Máximo	<b>9</b>	<b>3 x 1,95</b>	16,00	19,00	23,50	28,00
Desvio Padrão			1,12	1,70	1,03	1,68
C.V. (%)			8%	10%	5%	7%
Média			13,39	17,23	21,21	24,86
Mínimo			14,00	15,00	19,00	22,00
Máximo	<b>10</b>	<b>3 x 2,25</b>	17,00	19,50	23,00	28,00
Desvio Padrão			0,67	1,08	0,96	1,53
C.V. (%)			5%	6%	5%	6%
Média			14,43	17,27	21,72	25,03
Mínimo			14,00	15,50	20,00	23,50
Máximo	<b>11</b>	<b>3 x 2,60</b>	16,50	20,00	24,00	29,00
Desvio Padrão			0,71	1,13	1,07	1,24
C.V. (%)			5%	7%	5%	5%
Média			14,45	17,38	21,96	25,51
Mínimo			14,00	14,50	20,00	22,00
Máximo	<b>12</b>	<b>3 x 3,00</b>	18,00	20,00	24,00	30,00
Desvio Padrão			0,76	1,48	0,85	1,74
C.V. (%)			5%	9%	4%	7%

Tabela 14 – Resultados estatísticos para a altura das árvores ao longo do tempo (cont.)

Estatística	Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
			36	48	60	72
			Altura (m)			
Média			14,49	17,70	22,33	26,45
Mínimo			10,00	15,00	20,20	24,00
Máximo	<b>13</b>	<b>3 x 3,40</b>	18,00	21,00	24,50	29,50
Desvio Padrão			1,20	1,40	0,99	1,49
C.V. (%)			8%	8%	4%	6%
Média			14,91	17,95	22,74	26,68
Mínimo			14,50	15,50	21,00	24,00
Máximo	<b>14</b>	<b>3 x 3,80</b>	16,50	21,50	24,50	31,00
Desvio Padrão			0,52	1,32	0,91	1,74
C.V. (%)			3%	7%	4%	7%
Média			14,97	18,07	23,24	27,27
Mínimo			13,00	16,50	21,00	24,00
Máximo	<b>15</b>	<b>3 x 4,25</b>	16,00	19,80	25,00	30,50
Desvio Padrão			0,74	0,87	1,05	1,66
C.V. (%)			5%	5%	5%	6%
Média			15,06	18,26	23,60	27,66
Mínimo			14,50	16,00	21,00	23,50
Máximo	<b>16</b>	<b>3 x 5,25</b>	18,50	20,00	27,50	30,00
Desvio Padrão			1,05	0,98	1,10	1,49
C.V. (%)			7%	5%	5%	5%

Analisando o coeficiente de variação dos tratamentos, o comportamento da altura das árvores em resposta ao espaçamento, de forma contrária ao diâmetro, apresentou uma pequena dispersão dos resultados em relação à média, principalmente nos tratamentos com espaçamento amplo.

A Tabela 15 e as Figuras 12 e 13 sintetizam a evolução do crescimento em altura de 36 a 72 meses.

Tabela 15 - Evolução da altura das árvores ao longo do tempo para cada tratamento

Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
		36	48	60	72
		<b>Altura (m)</b>			
1	3 x 0,50	10,51	12,93	15,07	17,10
2	3 x 0,55	10,54	13,19	15,42	17,65
3	3 x 0,65	11,65	13,37	15,71	18,31
4	3 x 0,75	11,72	13,85	16,52	19,23
5	3 x 0,90	12,37	14,50	17,88	20,13
6	3 x 1,10	12,39	14,90	18,68	21,65
7	3 x 1,35	12,42	15,72	19,79	22,46
8	3 x 1,65	12,90	16,00	20,28	23,34
9	3 x 1,95	13,30	16,31	20,89	24,17
10	3 x 2,25	13,39	17,23	21,21	24,86
11	3 x 2,60	14,43	17,27	21,72	25,03
12	3 x 3,00	14,45	17,38	21,96	25,51
13	3 x 3,40	14,49	17,70	22,33	26,45
14	3 x 3,80	14,91	17,95	22,74	26,68
15	3 x 4,25	14,97	18,07	23,24	27,27
16	3 x 5,25	15,06	18,26	23,60	27,66

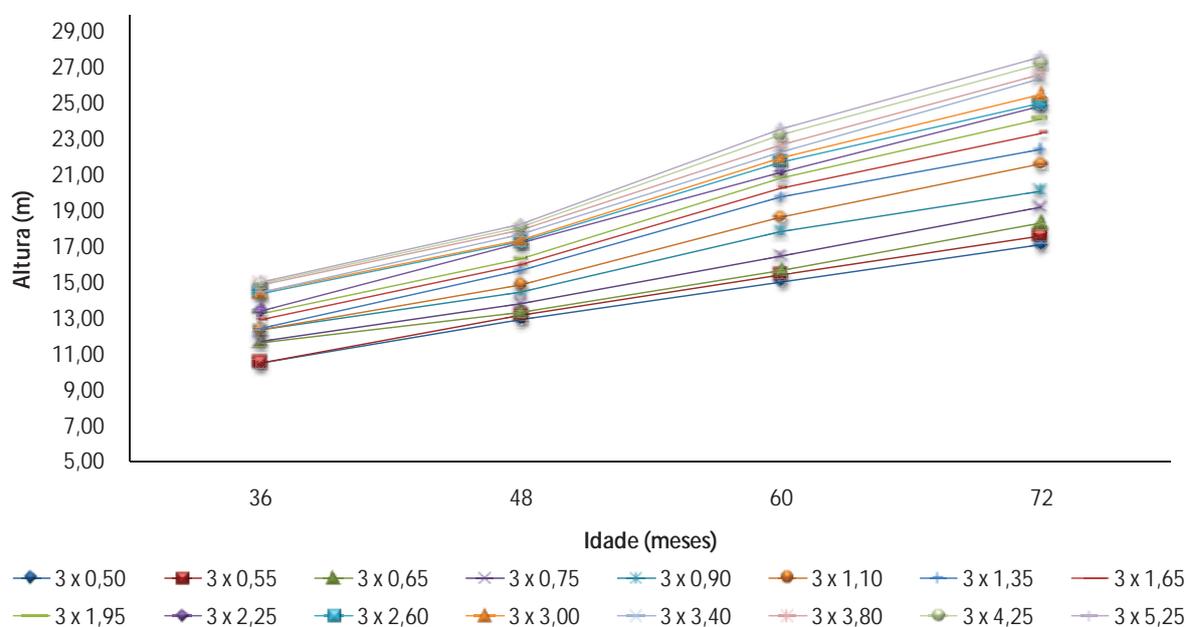


Figura 12 – Altura média das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo

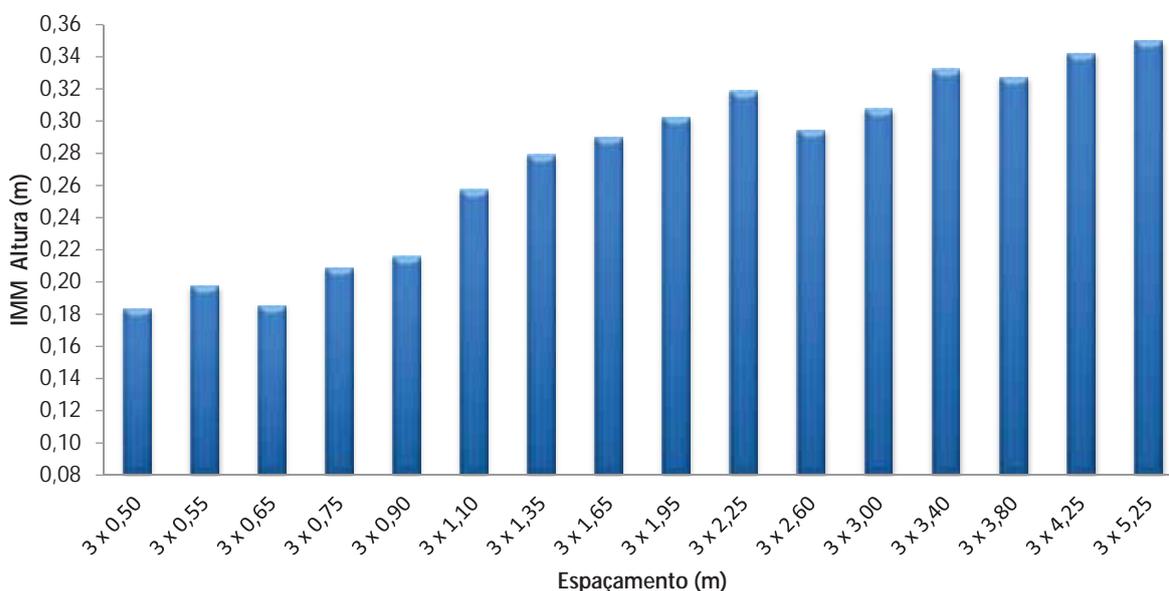


Figura 13 – Incremento médio mensal (IMM) da altura das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo

A variação média em altura em todas as idades nos tratamentos avaliados mostrou grande influência do espaçamento sobre a altura total das árvores. Na análise do IMM da altura, foi adotado procedimento semelhante ao apresentado na Figura 10.

Nas Figuras 12 e 13 foi observado um salto no crescimento médio em altura dos 48 aos 60 meses; sendo visualmente, o período que apresentou as curvas de crescimento mais acentuadas de IMM em altura. Por outro lado, no período de 36 a 48 meses e, de 60 a 72 meses, o ritmo de crescimento médio da altura foi menos acentuado em todos os tratamentos; esta tendência não foi observada para o crescimento em diâmetro, que manteve o mesmo ritmo de crescimento ao longo das idades.

#### 4.1.4. Área basal do povoamento

A Tabela 16 e as Figuras 15 e 16 apresentam a variação da área basal (AB) em cada tratamento aos 36, 48, 60 e 72 meses. Os valores de área basal, ao contrário das variáveis DAP e altura, apresentaram valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre as árvores.

Tabela 16 - Evolução da área basal ao longo do tempo para cada tratamento

Tratamento	Espaçamento (m)	Meses			
		36	48	60	72
		<b>Área Basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>			
1	3 x 0,50	17,85	27,81	33,41	38,33
2	3 x 0,55	17,71	27,41	32,10	36,05
3	3 x 0,65	17,27	26,46	30,81	35,32
4	3 x 0,75	17,13	26,30	30,69	35,10
5	3 x 0,90	16,41	24,93	30,23	34,30
6	3 x 1,10	15,72	23,59	29,05	33,54
7	3 x 1,35	14,34	22,17	28,14	32,10
8	3 x 1,65	13,15	21,76	26,79	30,18
9	3 x 1,95	12,92	19,90	24,89	28,17
10	3 x 2,25	12,51	18,90	23,37	27,68
11	3 x 2,60	12,05	17,96	21,98	26,56
12	3 x 3,00	11,26	17,86	21,24	25,31
13	3 x 3,40	10,78	17,74	21,01	24,11
14	3 x 3,80	10,51	16,50	20,73	23,58
15	3 x 4,25	10,10	16,38	20,60	23,06
16	3 x 5,25	9,45	15,56	19,10	22,80

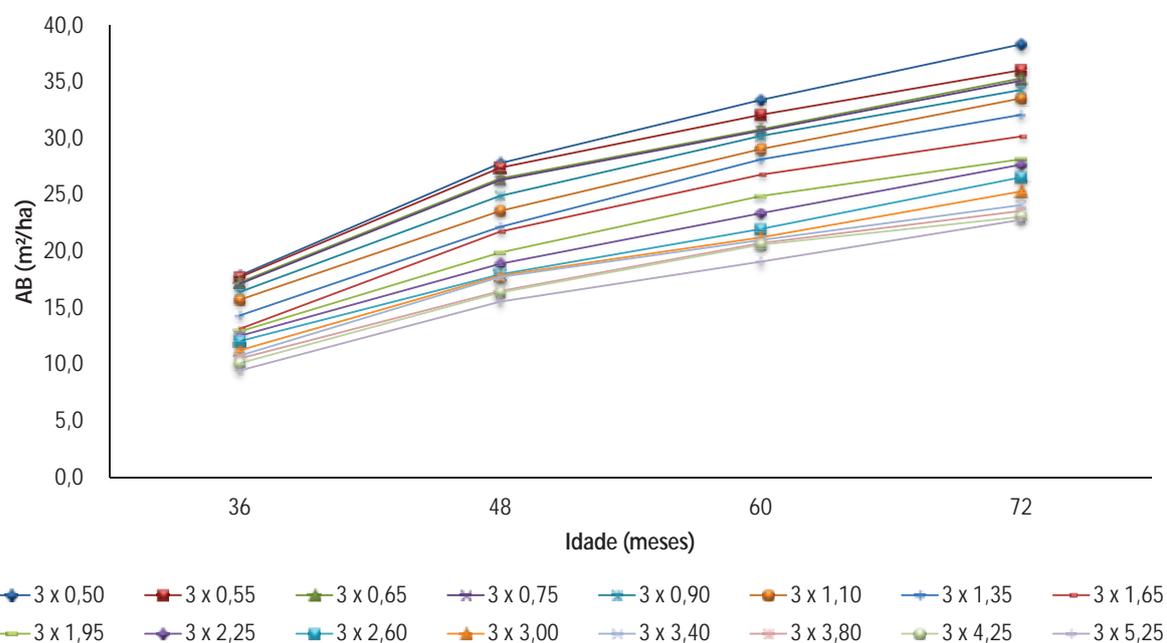


Figura 14 – Área basal (AB) por hectare nos espaçamentos ao longo do tempo

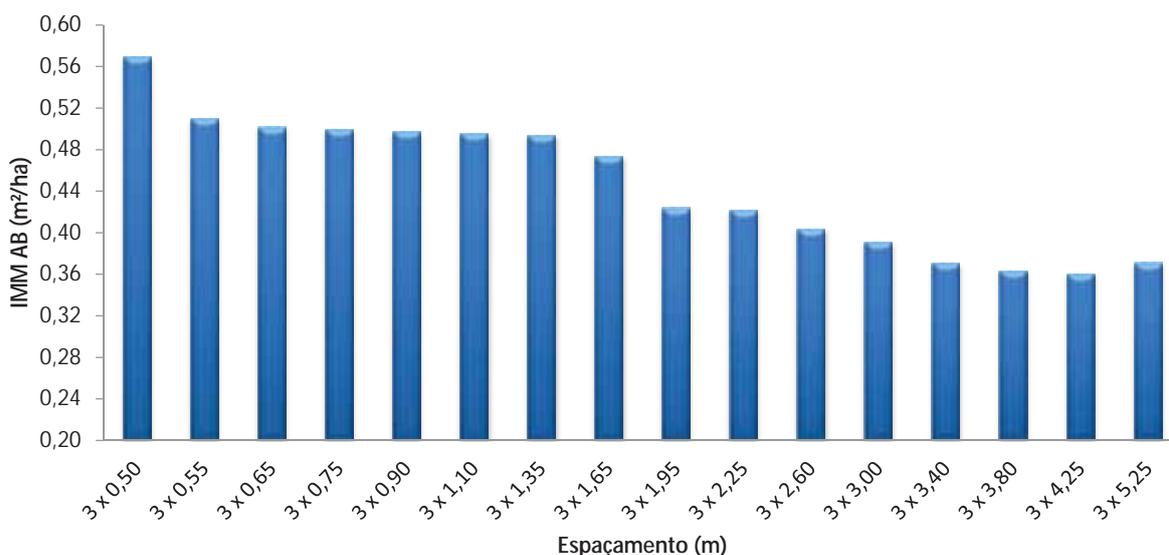


Figura 15 – Incremento médio mensal (IMM) em área basal (AB) por hectare nos espaçamentos ao longo do tempo

Na Figura 14, a linha que apresenta o crescimento mais acentuado é do Tratamento 1 - 3x0,50m e a linha menos acentuada representa o Tratamento 16 - 3x5,25m. Esta tendência se justifica em função da maior competição entre as árvores nos espaçamentos mais reduzidos que proporciona uma acelerada ocupação do terreno.

Na Figura 15 é possível observar que o IMM da AB apresentou uma relação inversa com o aumento do espaçamento de plantio, pois os maiores incrementos mensais ocorreram nos espaçamentos adensados - Tratamentos de 1 a 6, confirmando os estudos desenvolvidos por Müller et al. (2005). Como nas demais variáveis mensuradas ao longo dos 72 meses, não houve acompanhamento da área basal até os 36 meses e, por este motivo, o incremento médio mensal foi expresso apenas em função do intervalo de medição do ensaio, ou seja, dos 36 aos 72 meses.

## 4.2. Plantio aos 72 meses de idade

### 4.2.1. Variações em diâmetro

A Figura 16 apresenta os diâmetros médios das árvores na idade de 72 meses para os espaçamentos estudados.

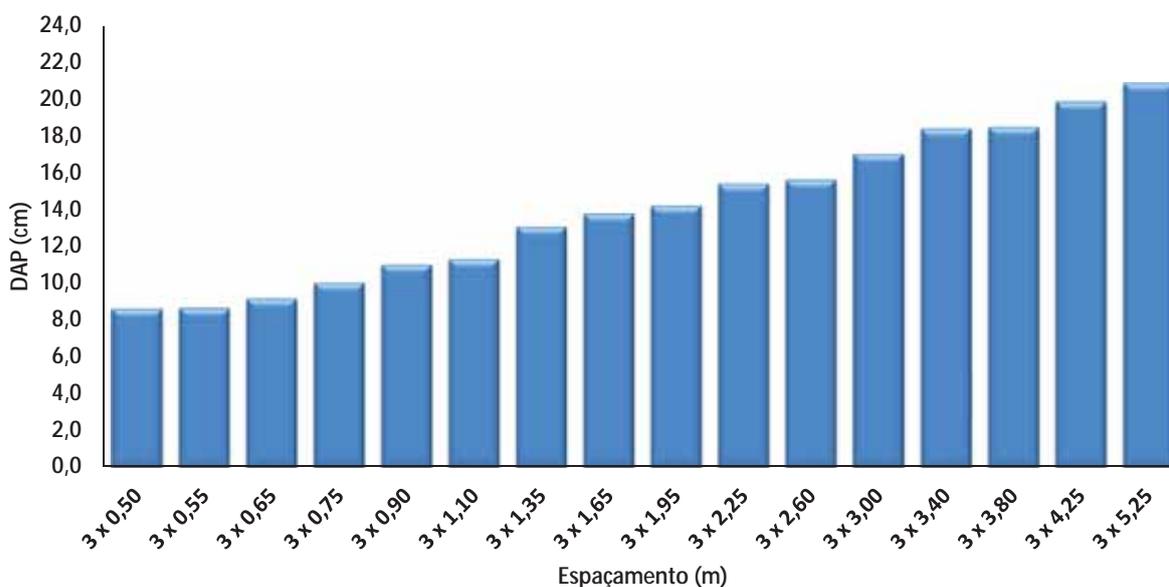


Figura 16 - Variação do diâmetro médio com casca nos espaçamentos aos 72 meses de idade

Para compreender o comportamento do diâmetro em resposta ao espaçamento de plantio, procurou-se estimar e analisar o seu comportamento por meio de análises de regressão, conforme sugerido por Dawkins (1960), Nelder (1962) e Namkoong (1966).

A Tabela 17 apresenta uma síntese dos coeficientes e das medidas de precisão dos seis modelos ajustados para o diâmetro.

Tabela 17 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para o diâmetro das 512 árvores medidas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES			$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
<i>Von Bertalanffy</i>	15	19,280672	0,104609		73,56%	2,310610	15,93%
<i>Chapman-Richards</i>	16	19,280672	0,091041	3,447078	73,50%	2,312883	15,95%
<i>Weibull</i>	17	29,650667	0,277965	0,536015	77,04%	2,125458	14,66%
<i>Gompertz</i>	18	21,475578	1,172862	0,205296	76,80%	2,136365	14,73%
<i>Brody</i>	19	22,430132	0,292570	0,142061	76,95%	2,129488	14,69%
<i>Logística</i>	20	20,938942	1,906279	0,269665	76,62%	2,144917	14,79%

O  $R^2_{Ajust.}$  expressa o quanto o espaçamento explica as variações do diâmetro. Considera-se que quanto maior o  $R^2_{Ajust.}$  do modelo analisado, melhor é o seu ajuste. De modo adicional, para seleção do modelo mais apropriado, os gráficos de distribuição de resíduos e erro padrão dos resíduos também foram considerados. A partir destes princípios, como o  $R^2_{Ajust.}$  dos modelos testados estavam bastante próximos, foi selecionado o modelo que apresentou a menor variação dos resíduos com relação a média; sendo assim, o Modelo de Von Bertalanffy (Equação 15) foi o que apresentou desempenho ligeiramente superior aos demais, conforme apresentado nas Figuras 17 e 18. Os ajustes dos demais modelos e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos encontram-se no Apêndice I.

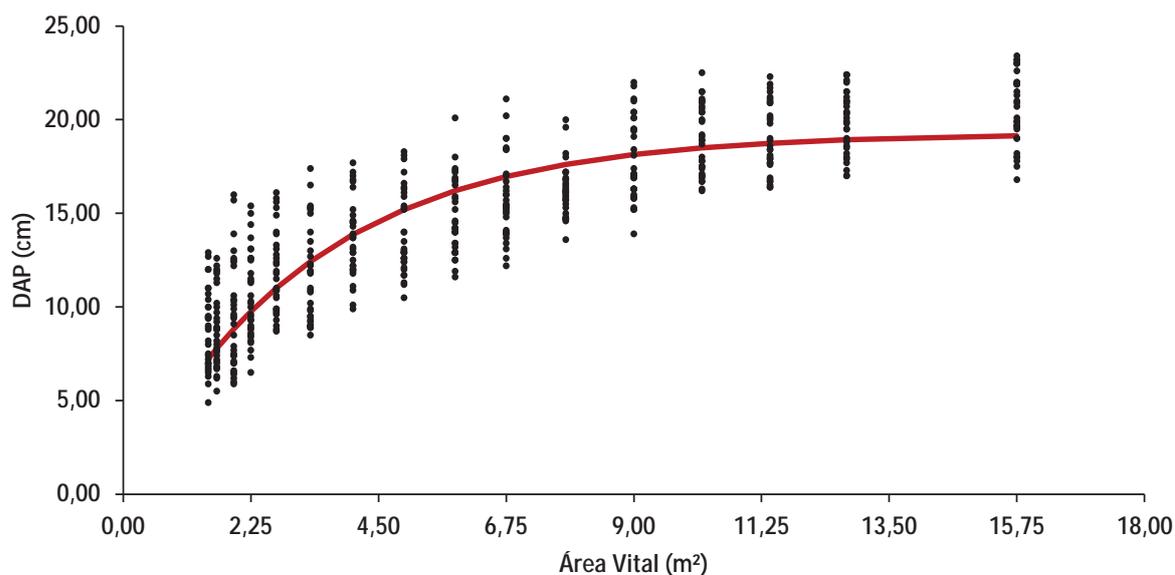


Figura 17 – Diâmetro à altura do peito (DAP) aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado

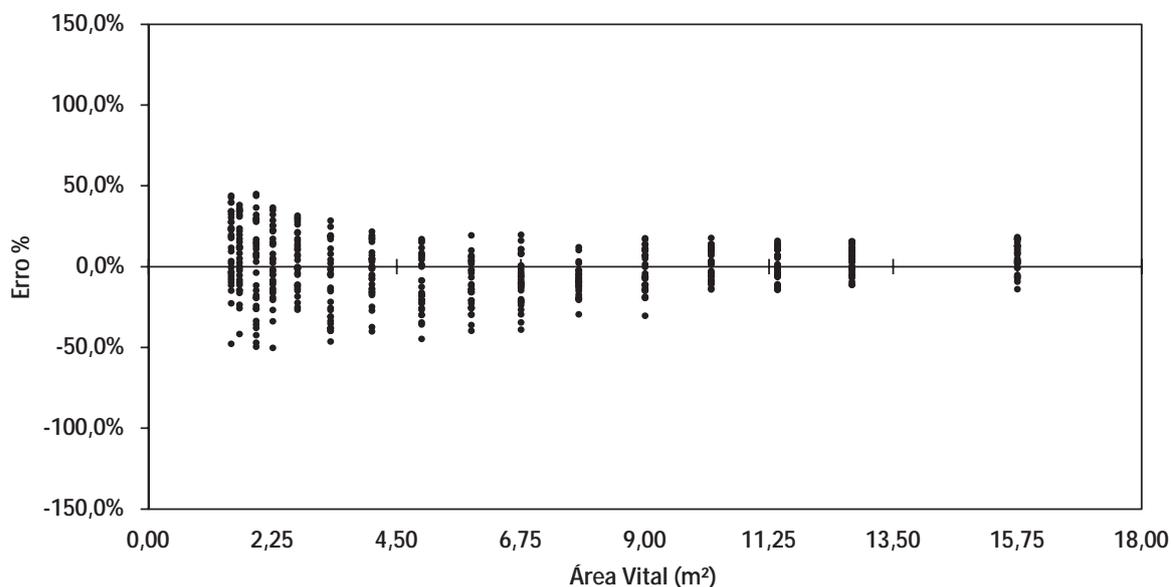


Figura 18 – Distribuição dos resíduos do Modelo de Von Bertalanffy para a variável DAP em função do espaçamento, aos 72 meses

Na Figura 17, observa-se nitidamente o aumento do diâmetro médio das árvores à medida que o espaçamento foi ampliado, sendo esta variável altamente influenciada pela concorrência. Segundo Bernardo (1995) e Oliveira Neto et al. (2003), o espaçamento exerce grande influência no crescimento em diâmetro, principalmente na fase inicial de desenvolvimento das árvores.

Mesmo tratando-se de um povoamento clonal, onde a constituição genética das árvores foi à mesma, deve-se considerar que existem interações dessas com o ambiente. Para Scolforo (2005), este fato via de regra, propicia povoamentos com variações de altura menos acentuadas e, no entanto, maiores variações no diâmetro.

A Figura 17 retrata que com o aumento da área vital por árvore, o diâmetro tende a aumentar, porém, este acréscimo não se mantém constante. O Modelo analisado expressa a hipótese lógica relativa à biologia do processo de crescimento das árvores, que a partir de um determinado espaçamento, a árvore já utilizou todo o recurso necessário para seu desenvolvimento, não havendo mais resposta de crescimento com o aumento do espaçamento, conforme resultados apresentados por Brito (2007) e Morais (2006).

A partir deste ponto, o diâmetro está próximo ao seu valor assintótico. Na Figura 17, observa-se ainda que, de acordo com o modelo ajustado, no maior espaçamento testado, Tratamento 16 - 3x5,25m ainda não se obteve o valor assintótico final para o diâmetro, pressupondo que, em espaçamentos maiores, o diâmetro ainda responderia ao espaçamento.

A Figura 18, que apresenta a distribuição gráfica dos resíduos, permite que seja visualizado o desempenho da função de regressão, e observar as tendências nas estimativas propiciadas pela mesma. Assim, para os dados analisados, a distribuição gráfica dos resíduos foi um critério importante na seleção do modelo, pois permitiu detectar que embora existam variações, não existe tendenciosidade na estimativa do diâmetro ao longo de toda a linha de regressão.

#### 4.2.2. Variações em altura

A Figura 19 retrata as alturas médias das árvores na idade de 72 meses para os espaçamentos estudados.

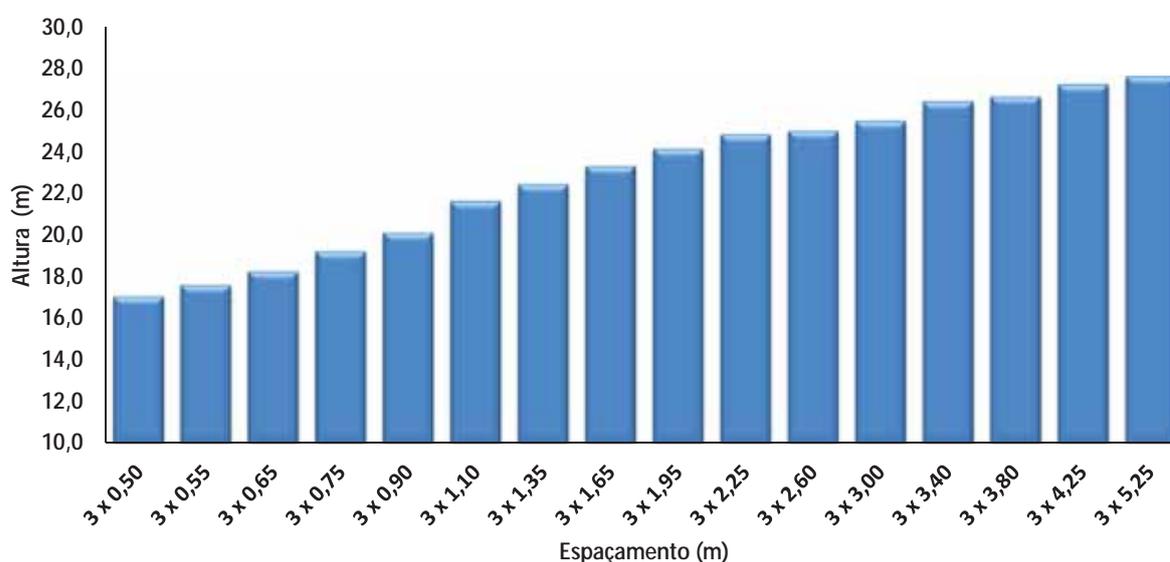


Figura 19 - Altura média com casca das árvores nos espaçamentos aos 72 meses de idade

Aos 72 meses foi possível observar nos tratamentos extremos, Tratamento 1 - 3x0,50m e Tratamento 16 -3x5,25m, uma variação de 10,52m de altura entre eles. Diante desta constatação percebe-se neste trabalho que de fato a altura foi influenciada pela área vital disponível para o desenvolvimento da árvore, ou seja, houve resposta aos tratamentos silviculturais.

A altura dominante ( $H_{dom}$ ) das árvores também sofreu influência do espaçamento. Spurr (1952 apud MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006), comentou que a altura dominante pode ser considerada como sendo a altura da árvore mais alta ou das duas mais altas do povoamento florestal. Assumindo que cada tratamento é representado por um total de 40 árvores, a altura dominante por tratamento foi considerada como a altura da árvore mais alta (Figura 20). A  $H_{dom}$  apesar de ser largamente usada como um meio para identificar a capacidade produtiva de terrenos florestais, por ser pouco afetada pelos tratamentos silviculturais, de acordo com Scolforo (2006), ela não deve ser utilizada para efetuar a classificação da qualidade do local em espécies que são afetadas pela densidade do povoamento, ou por desbastes, pois não se chegaria a resultados confiáveis.

Na Figura 20 observa-se que dentro da área de estudo, os espaçamentos adensados apresentaram as menores alturas dominantes, Tratamentos de 1 a 6, já os espaçamentos convencionais - Tratamentos de 7 a 11 sofreram pouca variação na altura, e os espaçamentos mais amplos - Tratamentos de 12 a 16 foram os que apresentam as árvores mais altas de todo o ensaio.

Pelo fato de estarmos trabalhando com um povoamento clonal, onde todos os indivíduos apresentam as mesmas características genéticas, esperava-se que as árvores dominantes apresentassem alturas semelhantes entre os tratamentos e fossem pouco afetadas pelas alterações no espaçamento, porém, a densidade do povoamento influenciou diretamente o crescimento em altura das árvores, o que impede neste estudo, que a  $H_{dom}$  seja considerada como um bom indicador de capacidade produtiva do sítio.

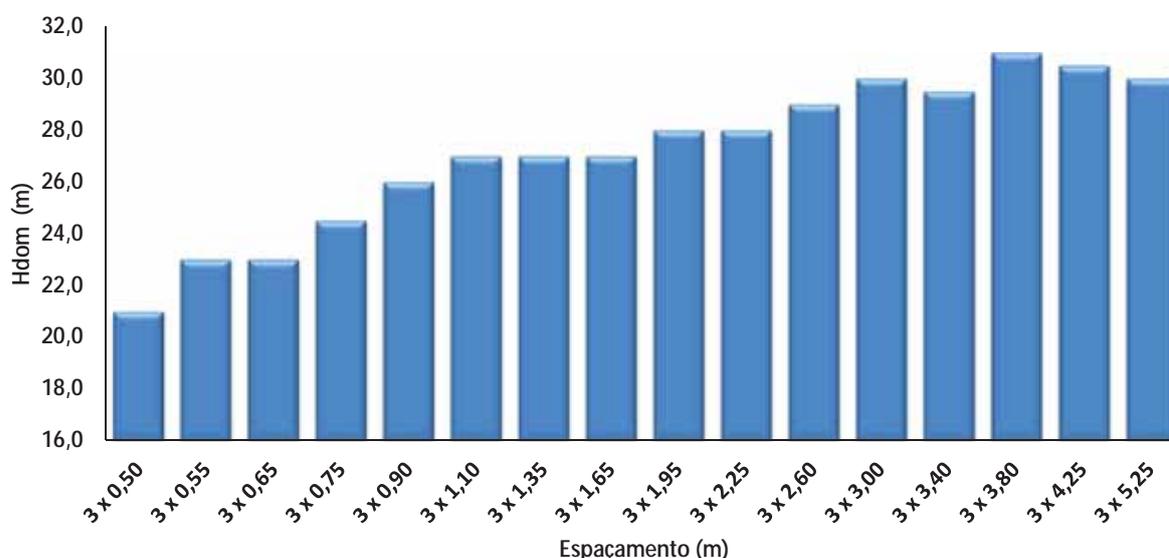


Figura 20 – Altura dominante (Hdom) das árvores nos espaçamentos ao longo do tempo

Seguindo o mesmo princípio do diâmetro, procurou-se estimar e analisar o comportamento da altura das árvores em reposta ao espaçamento por meio de análises de regressão. A Tabela 18 apresenta uma síntese dos coeficientes e das medidas de precisão dos seis modelos ajustados para a altura.

Tabela 18 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para a altura das 512 árvores medidas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES			$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
<i>Von Bertalanffy</i>	15	26,228366	0,205138		67,39%	2,338362	10,04%
<i>Chapman-Richards</i>	16	26,228366	0,110919	5,548343	67,33%	2,340663	10,05%
<i>Weibull</i>	17	28,817823	0,732151	0,542725	72,06%	2,152551	9,25%
<i>Gompertz</i>	18	27,461902	0,726678	0,326932	71,70%	2,166578	9,31%
<i>Brody</i>	19	27,664213	0,613276	0,272366	72,21%	2,099278	9,00%
<i>Logística</i>	20	27,345562	0,955491	0,373319	71,54%	2,172400	9,33%

A seleção do melhor modelo para representar o comportamento da altura em resposta ao espaçamento foi baseada nos maiores valores do  $R^2_{Ajust.}$ , nos gráficos de distribuição de resíduos e erro padrão dos resíduos. A partir destes princípios, o Modelo de Brody (Equação 19), foi o que apresentou desempenho ligeiramente superior aos demais, conforme Figuras 21 e 22. Os ajustes dos demais modelos e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos encontram-se no Apêndice II.

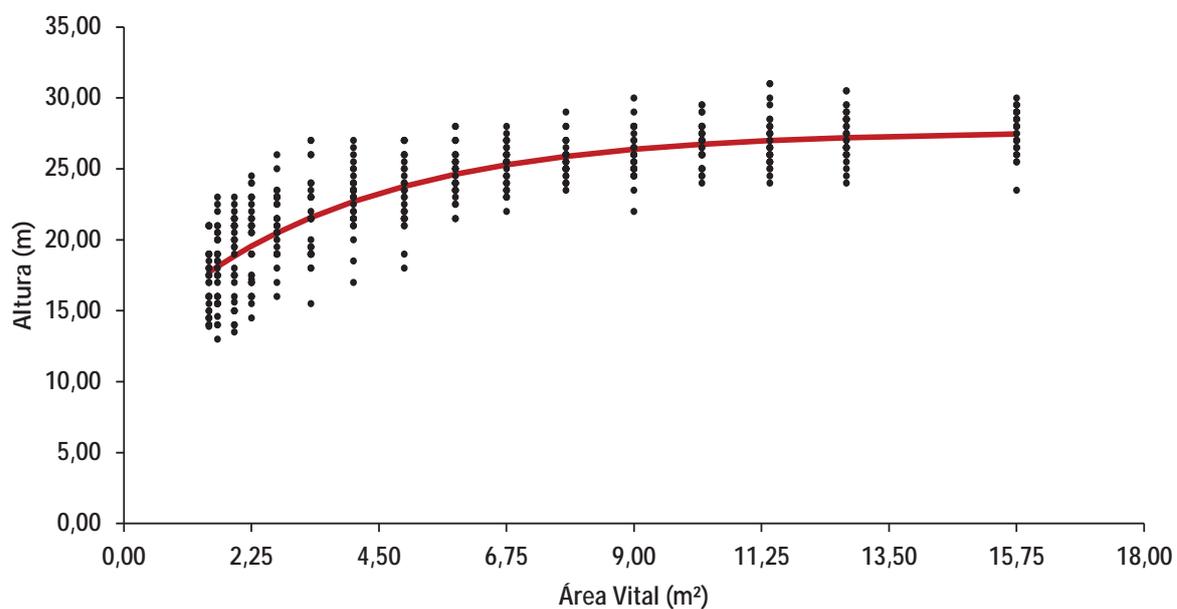


Figura 21 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Brody ajustado

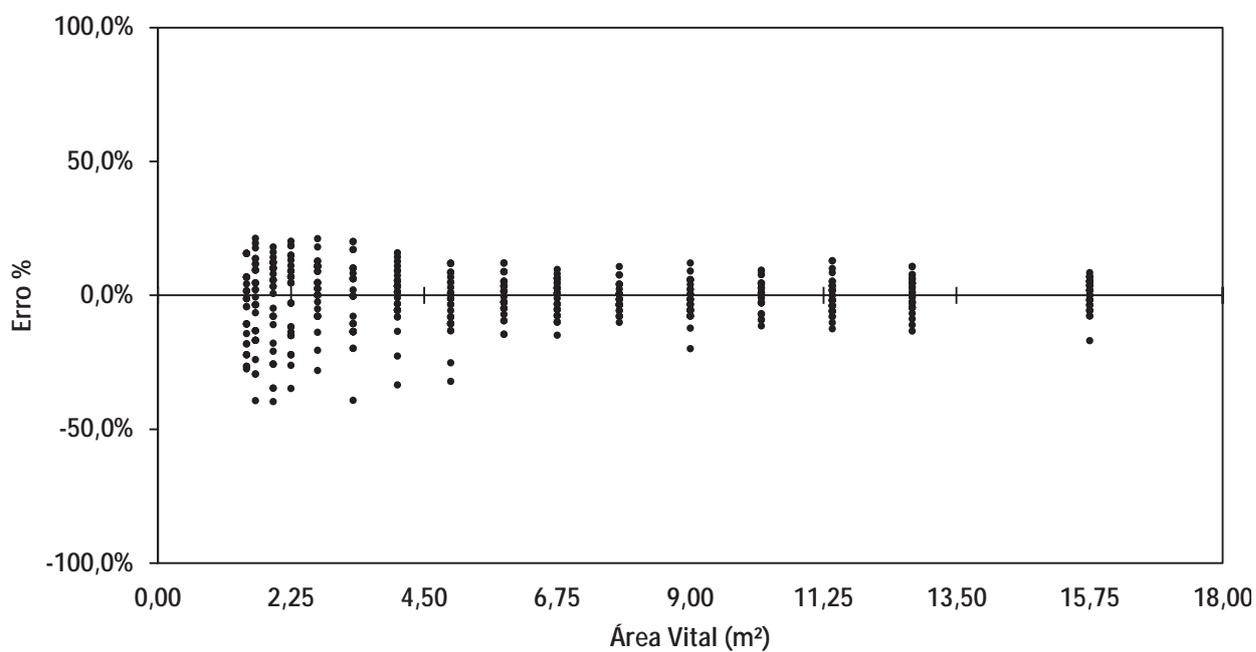


Figura 22 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Brody, aos 72 meses

A Figura 21 retrata o aumento da altura média das árvores à medida que o espaçamento é ampliado. A partir do Tratamento 12, é possível observar a uniformização das alturas, que ocorre mais rapidamente nos tratamentos amplos, Tratamento 12 a 16, atingindo seu valor assintótico em um espaçamento de aproximadamente 9,0m<sup>2</sup> de área vital por árvore. As maiores alturas obtidas nos espaçamentos amplos contrariam as constatações de Patino-Valera (1986), Bernardo (1995) e Assis et al. (1999), pois segundo estes autores, o maior crescimento inicial em altura das árvores ocorre em espaçamentos menores. Porém, Balloni e Simões (1980) afirmam que existem casos em que a altura média aumenta com o espaçamento e outros em que o resultado é inverso.

A distribuição dos resíduos para a altura, Figura 22, apresenta comportamento semelhante ao detalhado para o diâmetro, onde embora foi detectado que existam variações, não existe tendenciosidade na estimativa ao longo de toda a linha de regressão.

#### 4.2.3. Variações em área basal

A Figura 23 retrata a área basal (AB) na idade de 72 meses, para os espaçamentos estudados.

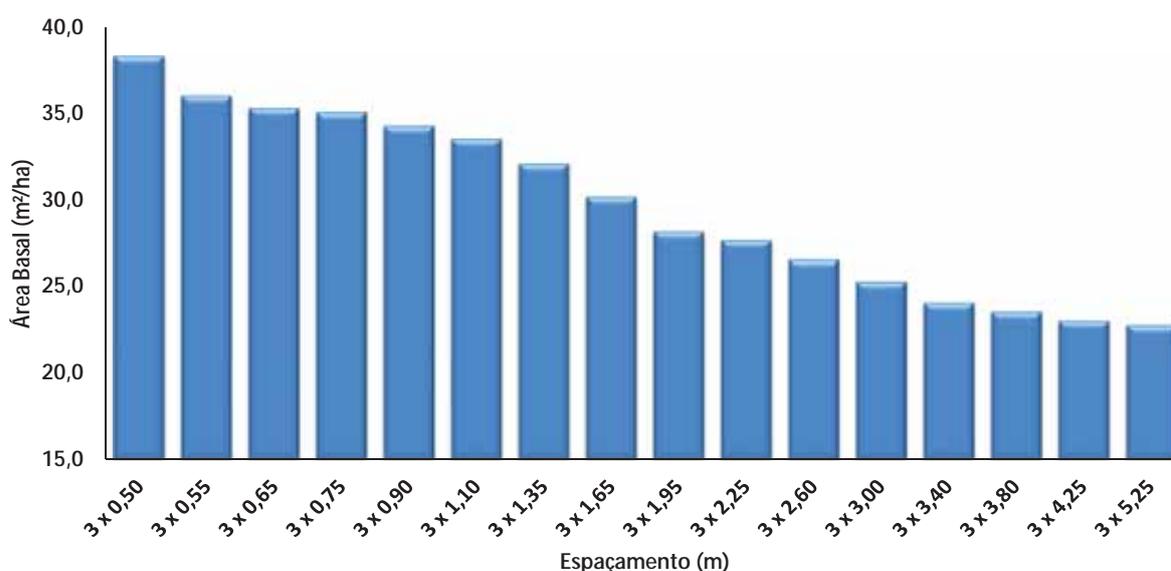


Figura 23 - Variação da área basal (AB) dos espaçamentos aos 72 meses de idade

A área basal por hectare, que é definida pelo diâmetro, apresentou a melhor média para o Tratamento 1 - 3x0,50m, conseqüentemente decorrente do maior número de árvores por hectare. Segundo Pinkard e Neilsen (2003), o efeito do número de árvores por unidade de área é fundamental na determinação dos valores de maior produtividade observada nos espaçamentos mais adensados.

Os valores médios de área basal por hectare apresentaram valores decrescentes com o aumento da área vital por árvore, variando de 22,8m<sup>2</sup> a 38,3m<sup>2</sup>/ha, respectivamente, para os Tratamentos 16 - 3x5,25m e Tratamento 1 - 3x0,50m.

#### 4.3. Volume do plantio aos 72 meses de idade por árvore e por hectare

O volume por árvore foi determinado aos 72 meses, idade em que foi realizada a cubagem rigorosa em todos os tratamentos. A Figura 24 apresenta o volume médio por árvore para os espaçamentos estudados na idade de 72 meses.

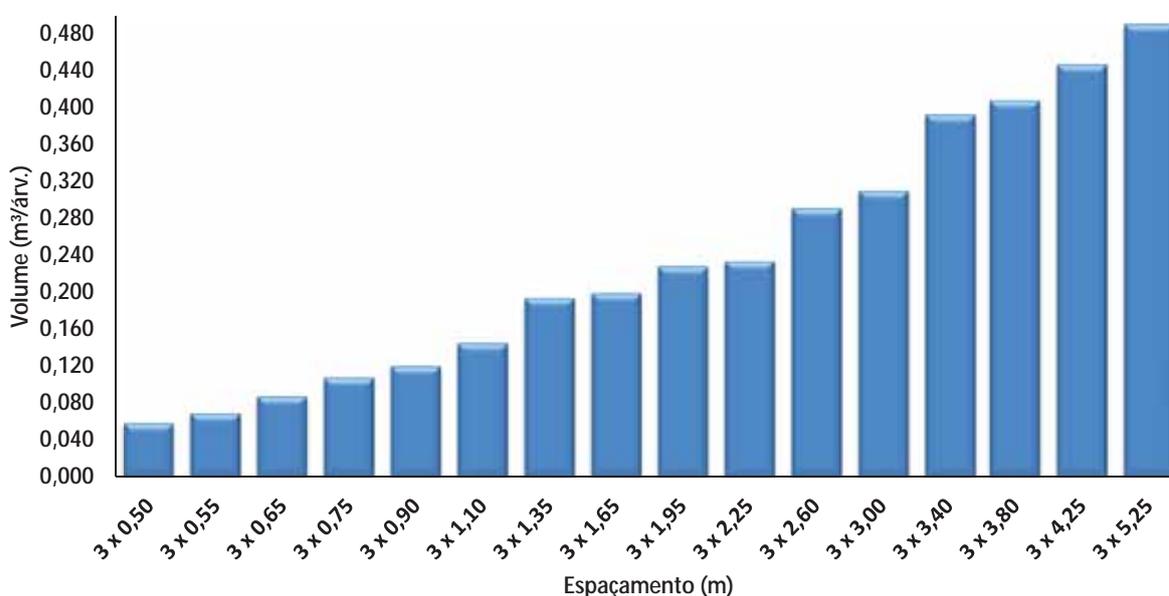


Figura 24 - Volume médio por árvore nos espaçamentos aos 72 meses de idade

A diferença de produção volumétrica de um espaçamento para outro é, portanto, dependente apenas do tempo requerido para se obter plena ocupação do sítio, havendo tendência de produção máxima por unidade de área similar para todos os espaçamentos, o que corresponde à lei da produção final constante (RADOSEVICH; OSTERYOUNG, 1987, citados por BERNARDO, 1995).

De acordo com a Figura 24 o volume por árvore nos Tratamentos 14 a 16 variaram de 0,4088 m<sup>3</sup>/ árvore, 0,4478 m<sup>3</sup>/árvore até 0,4915 m<sup>3</sup>/árvore. Isso implica em que, nos espaçamentos mais amplos, as árvores têm um maior incremento decorrente de sua maior área vital.

As Tabelas 19 e 20 apresentam uma síntese dos coeficientes e das medidas de precisão dos seis modelos ajustados para o volume por árvore e dos três modelos ajustados para volume por hectare, respectivamente.

Tabela 19 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para o volume por árvore das 48 árvores medidas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES			$R^2$ % <i>Ajust.</i>	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
<i>Von Bertalanffy</i>	15	0,887710	0,017255		95,26%	0,030703	12,97%
<i>Chapman-Richards</i>	16	0,887710	0,412961	0,125351	95,71%	0,028428	12,11%
<i>Weibull</i>	17	0,589981	2,552007	0,165836	95,34%	0,029641	12,63%
<i>Gompertz</i>	18	0,523406	7,520849	0,286381	94,87%	0,031135	13,27%
<i>Brody</i>	19	1,202919	0,041373	0,928956	95,82%	0,027944	11,89%
<i>Logística</i>	20	0,945116	0,005277	0,047024	95,81%	0,027764	11,83%

Tabela 20 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para o volume por hectare das 48 árvores medidas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES		$R^2$ % <i>Ajust.</i>	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$			
<i>Exponencial</i>	21	469,357796	0,969019	78,52%	26,770178	6,91%
<i>Hiperbólico</i>	22	496,034734	0,158754	70,20%	31,540139	8,14%

A seleção do modelo para estimativa do volume foi baseada nos maiores valores de  $R^2_{Ajust.}$ , nos gráficos de distribuição de resíduos e erro padrão. Nos modelos testados para a estimativa do volume por árvore onde os coeficientes de determinação e erro padrão dos resíduos foram muito próximos, avaliou-se o melhor modelo pelo gráfico dos resíduos. Partindo deste princípio, o Modelo de Chapman-Richards foi o que apresentou a

menor variação dos resíduos com relação à média, sendo assim, o que apresentou desempenho ligeiramente superior aos demais para o volume por árvore, Figuras 25 e 26. Na representação do volume por hectare, apesar de o Modelo Exponencial apresentar os melhores resultados estatísticos, este não representa o comportamento natural do volume/ha em função do espaçamento. No entanto, o modelo Hiperbólico em seu ajuste gráfico apresentou o comportamento biológico da produção volumétrica por hectare com o aumento do espaçamento de plantio, o que demonstra uma maior correspondência do modelo testado com os dados que estão sendo analisados nas Figuras 27 e 28. Os ajustes dos demais modelos e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos encontram-se no Apêndice III.

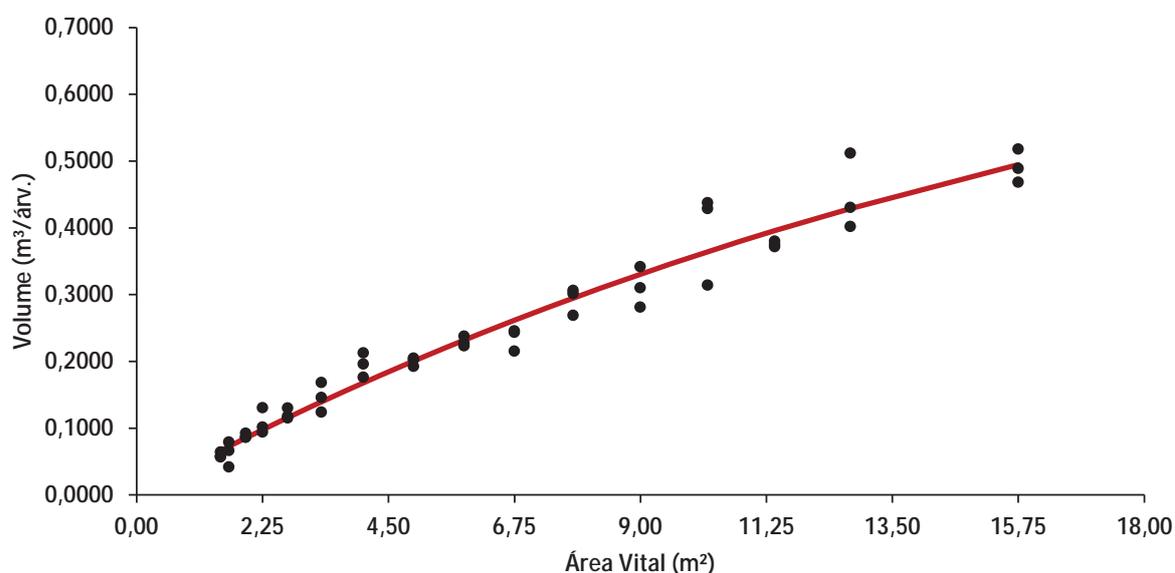


Figura 25 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado

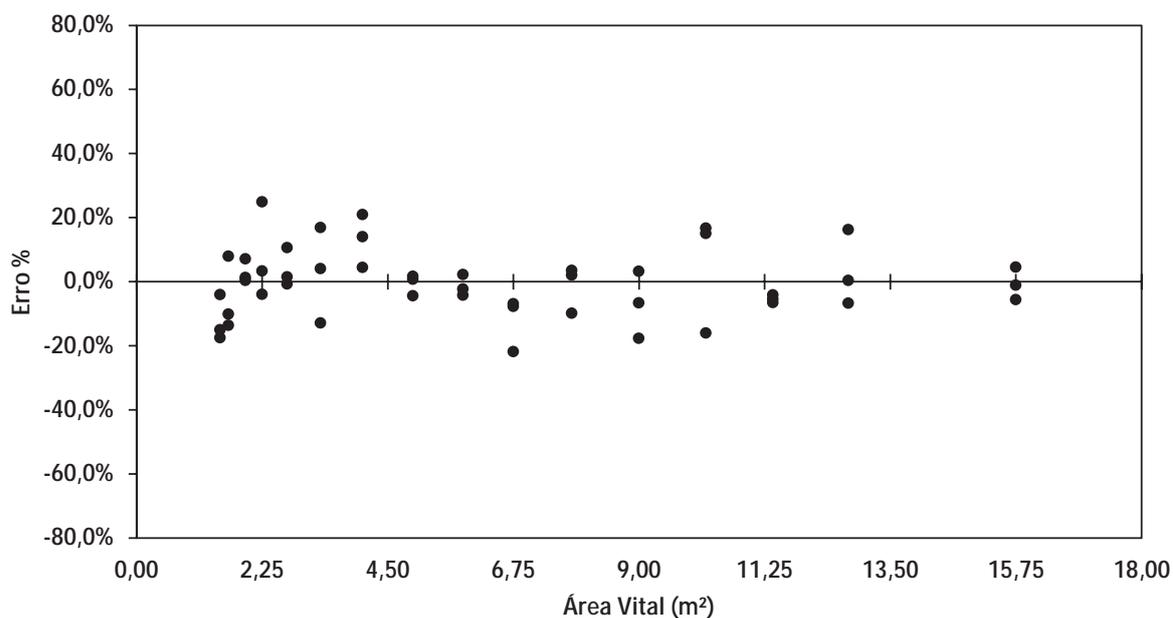


Figura 26 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses

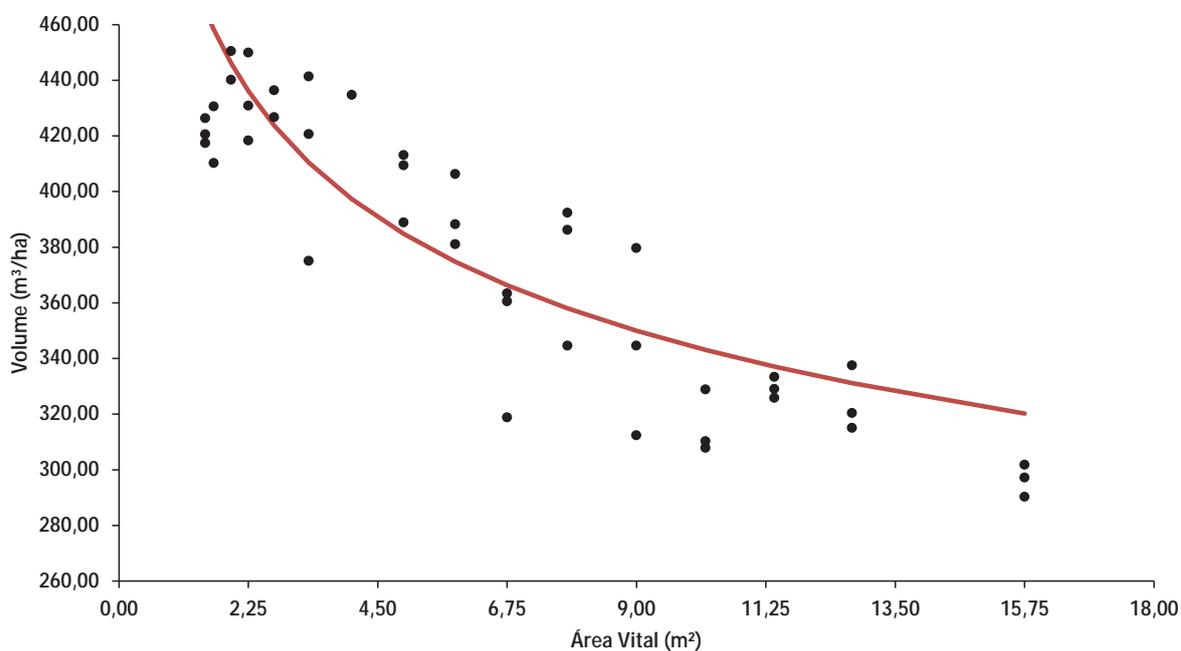


Figura 27 – Volume por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado

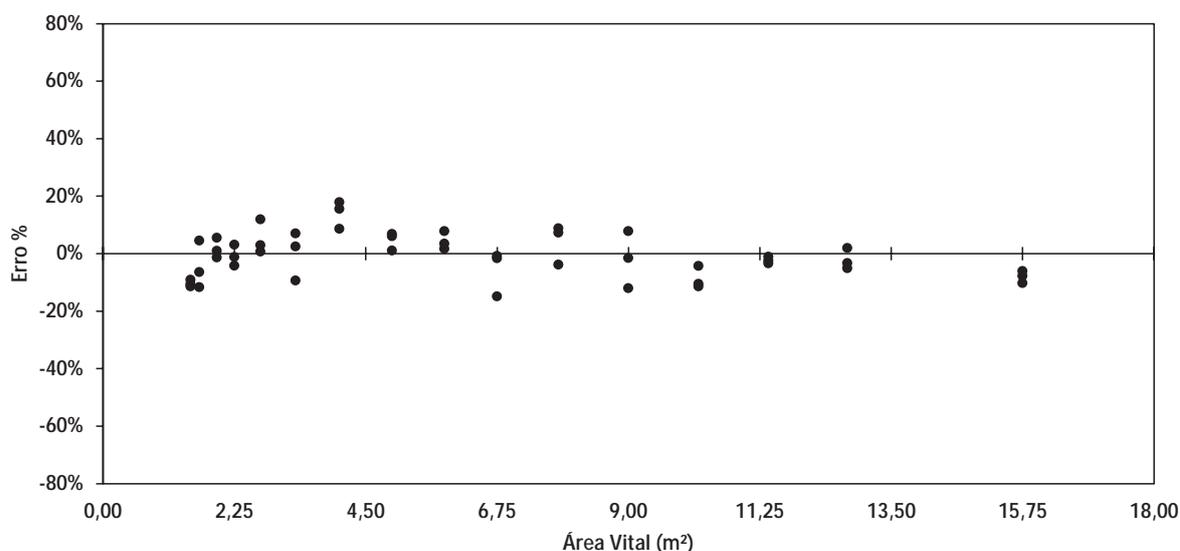


Figura 28 – Distribuição dos resíduos para volume por hectare em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico, aos 72 meses

Na Figura 27, observa-se que a produção em volume por hectare diminui com o aumento do espaçamento inicial, tendência observada por Botelho (1998) e Oliveira Neto et al. (2003) que afirmam que, a maior produção por unidade de área ocorre nos espaçamentos mais adensados em função do maior número de indivíduos. Analisando a árvore individualmente, detectou-se que o volume por árvore foi superior nos espaçamentos mais amplos, pois o volume por árvore é influenciado diretamente pela maior ou menor proporção de madeira fina dos povoamentos instalados sob espaçamentos adensados, que decorrem do surgimento precoce da competição entre as árvores por espaço, com consequente dominância das mais vigorosas e mais bem dotadas.

A maior produtividade por hectare ocorreu nos espaçamentos adensados em função do maior número de indivíduos por metro quadrado - Tratamentos 1 a 6, enquanto a menor produção por hectare ocorreu nos maiores espaçamentos. A diferença de produção entre os tratamentos com espaçamento adensado e os tratamentos com espaçamento amplo torna-se cada vez menor com o aumento da idade das árvores, pois nos espaçamentos mais amplos espera-se obter uma produção volumétrica no fim de uma rotação, similar àquela obtida em espaçamentos mais reduzidos.

#### 4.4. Densidade básica ponderada da madeira aos 72 meses de idade

A densidade básica ponderada da madeira de cada árvore foi avaliada partir das amostras retiradas das mesmas árvores cubadas para determinação do volume aos 72 meses. As Tabelas 21 e 22 apresentam uma síntese dos coeficientes e das medidas de precisão dos cinco modelos ajustados para a densidade básica da madeira com casca.

Tabela 21 – Coeficientes e estatísticas das cinco equações ajustadas para densidade básica da madeira com casca por árvore das 48 árvores amostradas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES			$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
<i>Von Bertalanffy</i>	15	486,734751	0,512727		55,61%	13,357636	2,79%
<i>Chapman-Richards</i>	16	486,734751	0,165389	9,300390	54,60%	13,508575	2,83%
<i>Weibull</i>	17	486,000617	1,335800	1,283846	55,22%	13,413613	2,81%
<i>Gompertz</i>	18	486,158666	2,259377	2,008615	55,18%	13,420618	2,81%
<i>Logística</i>	20	486,122642	2,708761	2,091782	55,25%	13,409884	2,80%

A seleção do modelo para estimativa da densidade básica da madeira com casca partiu do mesmo princípio estabelecido para as demais variáveis mensuradas, sendo avaliado o coeficiente de determinação, erro padrão dos resíduos e a distribuição gráfica dos resíduos (Figuras 29 e 30). O Modelo de Von Bertalanffy foi o que apresentou a menor variação dos resíduos com relação à média, sendo assim, o que apresentou desempenho ligeiramente superior aos demais. Os cinco modelos ajustados para a Db retrataram o comportamento biológico da variável, que conforme a Figura 29 mostra-se pouco afetada por tratamentos silviculturais, como o aumento do espaçamento. Mesmo tratando-se de um povoamento clonal e considerando que dentro da área experimental tenhamos uma condição de solo e edafoclimática homogênea, o manejo silvicultural empregado é o principal responsável pelas variações observadas. Rosado e Brune (1983), Brasil (1972), Souza et al. (1979) trabalhando com *Eucalyptus sp.* em diferentes regiões encontraram resultados semelhantes onde a Db não está correlacionada com o crescimento em diâmetro e altura. Os ajustes dos demais modelos e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos encontram-se no Apêndice IV.

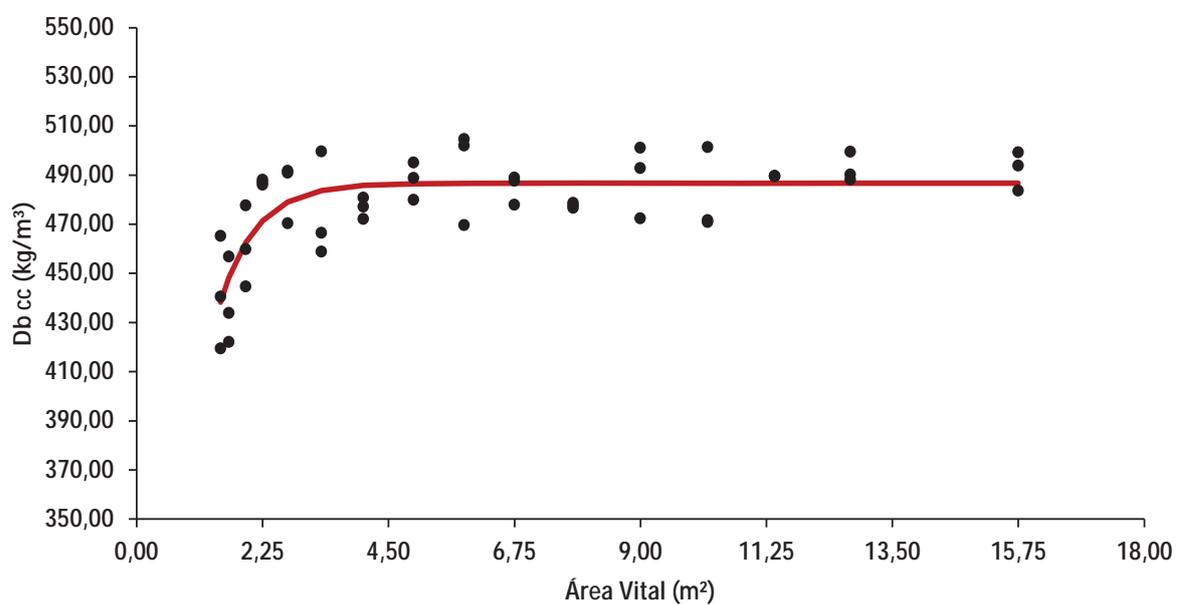


Figura 29 – Densidade básica da madeira com casca (Db cc) aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado

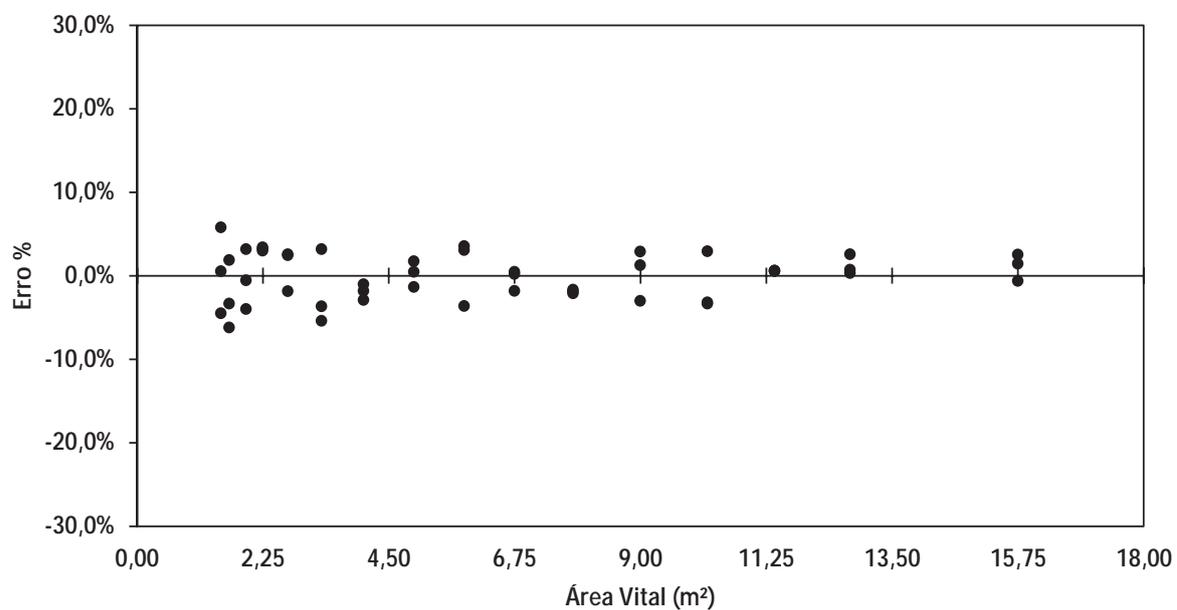


Figura 30 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira com casca (Db cc) em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Von Bertalanffy, aos 72 meses

Na Figura 29 que retrata o comportamento da Db com o aumento do espaçamento pode-se observar que não houve alterações consideráveis nesta variável a partir de  $3,30\text{m}^2$  de área vital por árvore. Os espaçamentos mais adensados, caracterizados por árvores menos vigorosas, proporcionaram uma redução na Db aos 72 meses. Com o aumento da área vital por árvore houve uma resposta positiva da Db até o Tratamento 7 -  $3 \times 1,35\text{m}$ ; ou seja, a Db respondeu as variações de espaçamento somente no intervalo de  $1,50\text{m}^2$  até  $4,05\text{m}^2$  de área vital por árvore, e a partir da área vital de  $4,95\text{m}^2$  não houve mais resposta significativa da densidade com o aumento do espaçamento.

Analisando as árvores mais vigorosas pertencentes aos tratamentos que possuem espaçamentos amplos conclui-se que a taxa de crescimento diametral é inversamente proporcional à densidade básica da madeira, isto porque não houve variação significativa da Db a medida que o espaçamento era ampliado. O comportamento da Db em função de diferentes espaçamentos em povoamentos clonais, de acordo com Thiersch (2002), pode sofrer com as variações do sítio em que o povoamento está instalado; segundo o autor, o comportamento observado de manutenção da Db com o aumento da área vital por planta é característica de sítios menos produtivos. No povoamento clonal analisado a decisão sobre os melhores espaçamentos que proporcionem o desenvolvimento de árvores com maior densidade restringe o uso do manejo com espaçamentos amplos ou muito adensados por não favorecem a formação de madeira de maior Db para a espécie estudada aos 72 meses.

#### **4.5. Percentual de casca por árvore aos 72 meses de idade**

A Tabela 22 apresenta os coeficientes e as medidas de precisão dos dois modelos ajustados para o percentual de volume de casca das árvores em cada tratamento aos 72 meses.

Tabela 22 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para o percentual de casca das árvores para as 48 árvores amostradas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES		$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$			
<b>Exponencial</b>	<b>21</b>	0,225807	0,952406	60,30%	0,025960	15,35%
<b>Hiperbólico</b>	<b>22</b>	0,254152	0,267513	67,11%	0,023621	13,97%

O modelo que apresentou a menor variação dos resíduos com relação à média foi o Modelo Hiperbólico, com o maior coeficiente de determinação ajustado e menor erro padrão dos resíduos, assim como a menor variação gráfica dos resíduos (Figuras 31 e 32). O ajuste do Modelo Exponencial e seu respectivo gráfico de distribuição dos resíduos encontra-se no Apêndice V.

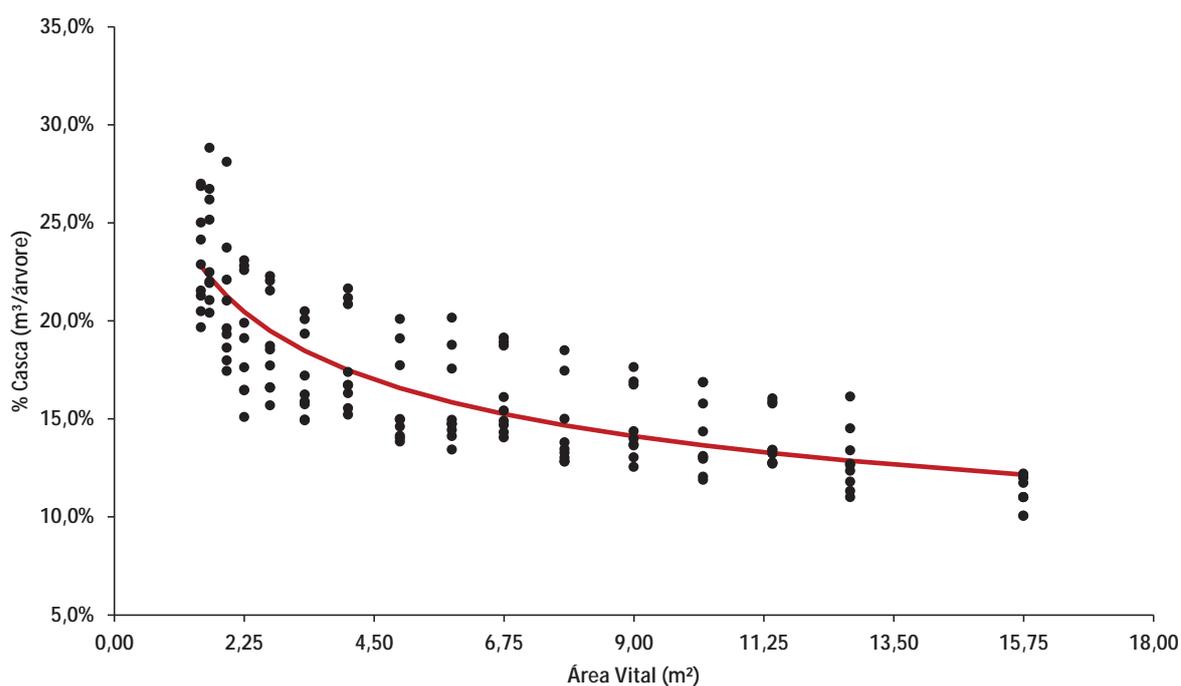


Figura 31– Percentual de volume de casca por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado

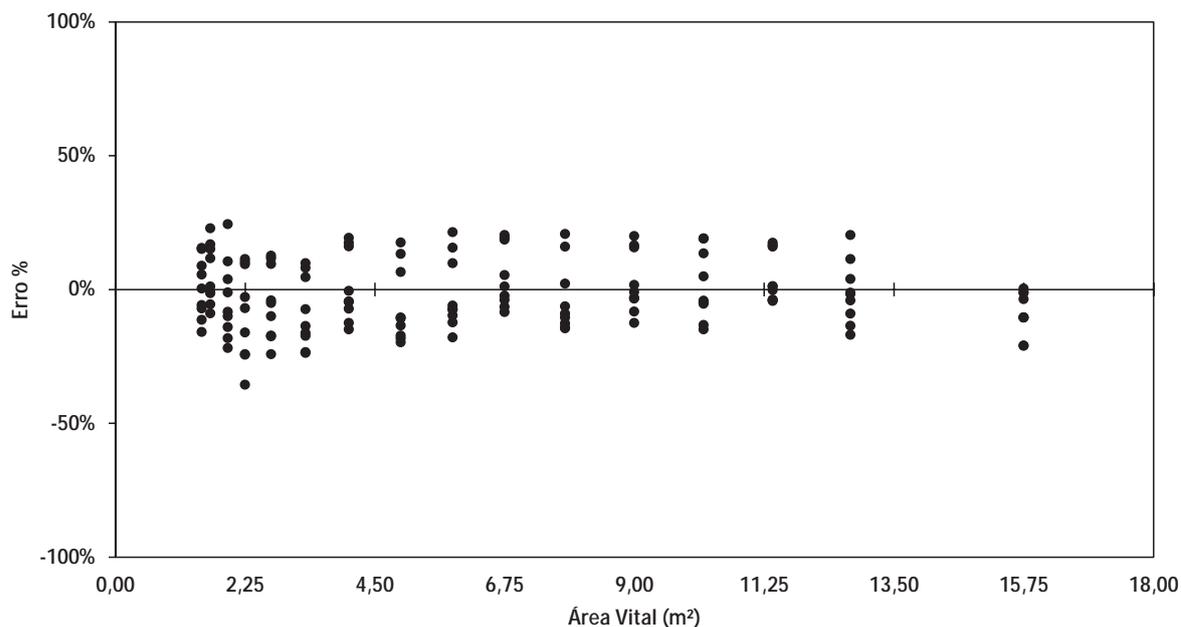


Figura 32 – Distribuição dos resíduos para o percentual do volume de casca por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico, aos 72 meses

A Figura 31 retrata a redução no percentual de casca das árvores com o aumento da área vital por planta. Nos espaçamentos adensados existe uma maior frequência de árvores menores, tanto em diâmetro quanto em altura, o que intensifica também a ocorrência de árvores dominadas. Árvores dominadas possuem como uma de suas características a menor produção volumétrica de madeira, porém uma maior proporção de casca na árvore.

Analisando o crescimento das árvores nos diferentes espaçamentos, observa-se uma alta correlação inversa entre o crescimento da árvore e a porcentagem de casca. As árvores maiores (em diâmetro e altura) que se desenvolveram mais rapidamente nos espaçamentos a partir de  $9\text{m}^2$  por planta apresentaram menores percentuais de casca, com uma variação de 17% no percentual de casca para os tratamentos extremos; sendo que no Tratamento 1 -  $3 \times 0,50\text{m}$  foram observadas árvores com 27% de casca em volume e no Tratamento 16 -  $3 \times 5,25\text{m}$  foram observadas árvores com 10% de casca em volume, lembrando que esta variação ocorreu dentro de uma mesma espécie, com o mesmo material genético na idade de 6 anos; evidenciando o efeito de diferentes manejos dentro de um povoamento florestal.

Esta tendência de crescimento observada para o percentual de casca das árvores em povoamentos manejados para maior produção volumétrica por hectare precisa ser discutida com cautela pelos silvicultores. Segundo Coelho et al. (1970) florestas conduzidas em espaçamentos adensados podem vir a gerar reflexos negativos nas indústrias, visto que, a utilização de madeira fina em proporções elevadas ou o uso de madeira fina somente na fabricação de chapas, conduz a um aumento da percentagem de casca no produto acabado.

#### 4.6. Estimativa da biomassa do fuste por árvore e por hectare aos 72 meses

A biomassa do fuste foi determinada multiplicando-se o volume por hectare pela densidade básica da madeira, obtidas por meio de cubagem rigorosa e amostragem dos discos para determinação da densidade aos 72 meses. As Tabelas 23 e 24 apresentam uma síntese dos coeficientes e das medidas de precisão dos seis modelos ajustados para a biomassa do fuste por árvore e por hectare.

Tabela 23 – Coeficientes e estatísticas das seis equações ajustadas para a biomassa do fuste por árvore para as 48 árvores amostradas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES			$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
<i>Von Bertalanffy</i>	15	453,537053	0,016262		96,56%	12,435273	10,86%
<i>Chapman-Richards</i>	16	453,537057	0,184689	0,264153	96,48%	12,575789	10,98%
<i>Weibull</i>	17	685,287452	0,035169	0,919664	96,52%	12,479464	10,90%
<i>Gompertz</i>	18	296,505693	2,555002	0,159653	96,17%	13,100140	11,44%
<i>Brody</i>	19	514,056427	0,008227	0,040554	96,59%	12,233918	10,68%
<i>Logística</i>	20	260,458944	7,565736	0,279694	95,72%	13,871155	12,11%

Tabela 24 – Coeficientes e estatísticas das duas equações ajustadas para a biomassa do fuste por hectare para as 48 árvores amostradas aos 72 meses

MODELO	EQUAÇÃO	COEFICIENTES		$R^2$ % Ajust.	Syx	Syx %
		$\beta_0$	$\beta_1$			
<i>Exponencial</i>	21	227,735902	0,972476	74,70%	12,747408	6,64%
<i>Hiperbólico</i>	22	240,711108	0,145128	69,45%	14,010927	7,30%

Para a biomassa do fuste por árvore e biomassa do fuste por hectare, os modelos que apresentaram desempenho ligeiramente superior aos demais foram os Modelos de Chapman-Richards, para a biomassa do fuste por árvore (Figuras 33, 34) e o Hiperbólico para biomassa do fuste por hectare. Apesar de o Modelo Exponencial apresentar os melhores resultados estatísticos, este não representou o comportamento natural da biomassa do fuste/ha em função do espaçamento, porém, o modelo Hiperbólico em seu ajuste gráfico, apresentou o mesmo comportamento biológico da biomassa do fuste/ha, o que demonstra uma maior correspondência do modelo testado com os dados que estão sendo analisados (Figuras 35 e 36). Os ajustes dos demais modelos e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos encontram-se no Apêndice VI.

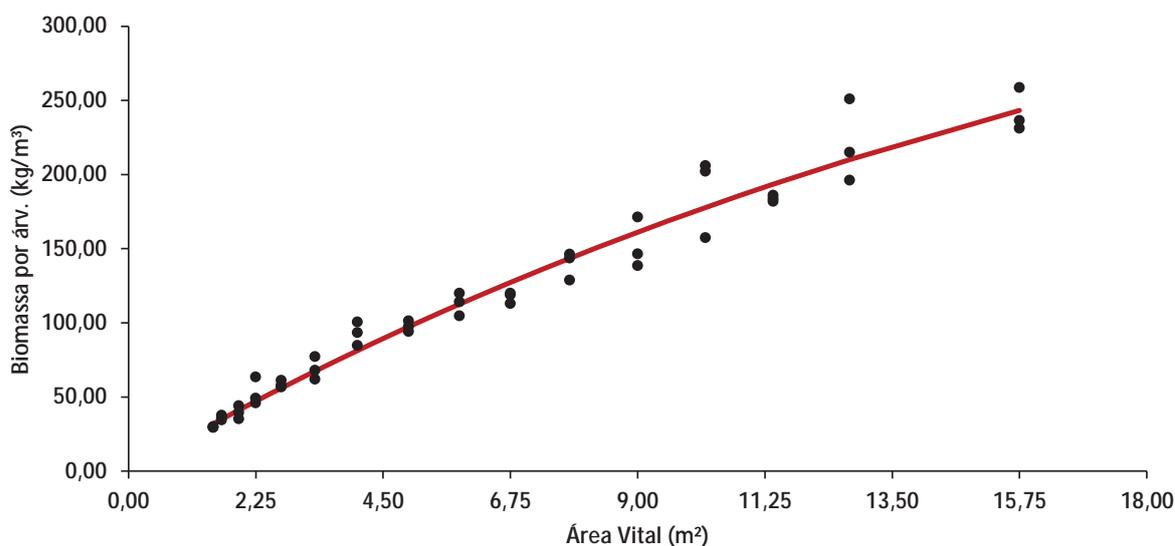


Figura 33 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado

A Figura 33 retrata a produção de biomassa do fuste por árvore com o aumento do espaçamento de plantio e permite concluir que os espaçamentos mais amplos foram os que proporcionaram maior produção de biomassa do fuste por árvore. O aumento da área vital por planta proporcionou maior desenvolvimento em diâmetro e altura para as árvores, aumentando a frequência de árvores dominantes por hectare. Para a produção de biomassa do fuste por árvore foi observado uma grande variação entre os tratamentos

extremos, cerca de  $229\text{kg/m}^3$ , sendo que o Tratamento 1 -  $3 \times 0,50\text{m}$  foram observadas árvores com  $29\text{kg/m}^3$  de biomassa do fuste e no Tratamento 16 -  $3 \times 5,25\text{m}$  foram observadas árvores com  $258\text{kg/m}^3$  de biomassa do fuste por hectare.

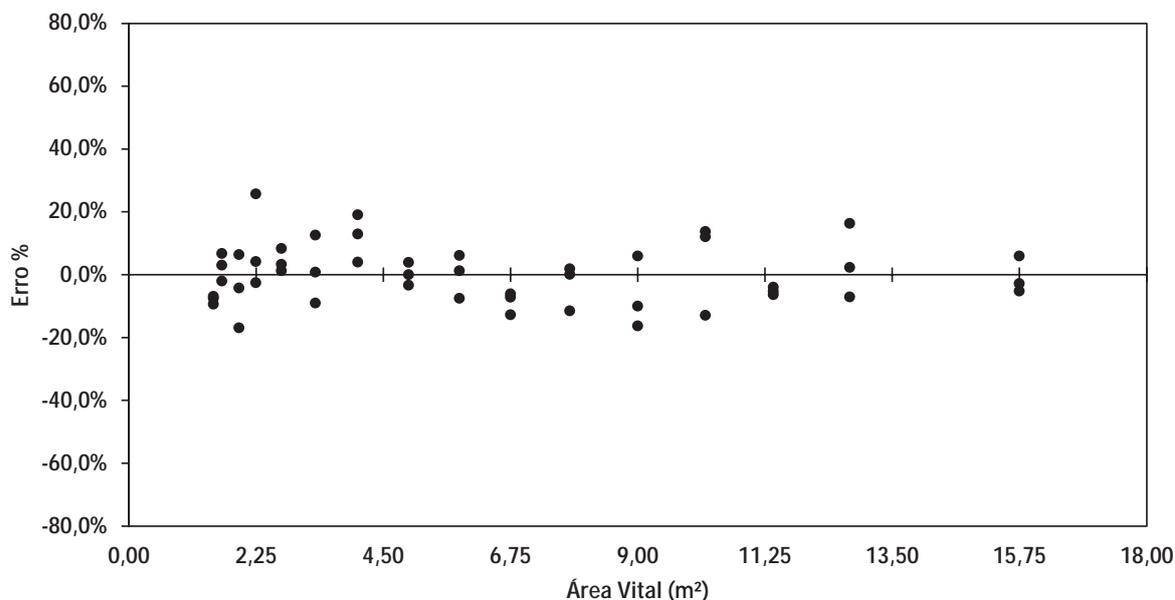


Figura 34 – Distribuição dos resíduos para a biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses

Na Figura 35 é apresentado o comportamento da produção de biomassa do fuste por hectare e evidenciou-se novamente que nos espaçamentos adensados, onde se tem um maior número de árvores por hectare, houve também maior produção de biomassa do fuste por hectare. A variação na produção de biomassa do fuste por hectare entre os tratamentos extremos foi de  $81\text{ton/ha}$ , sendo que o Tratamento 1 -  $3 \times 0,50\text{m}$  a produção média foi  $225\text{ton}$  de biomassa do fuste por hectare e no Tratamento 16 -  $3 \times 5,25\text{m}$ , a produção foi em torno de  $153\text{ton}$  de biomassa do fuste por hectare.

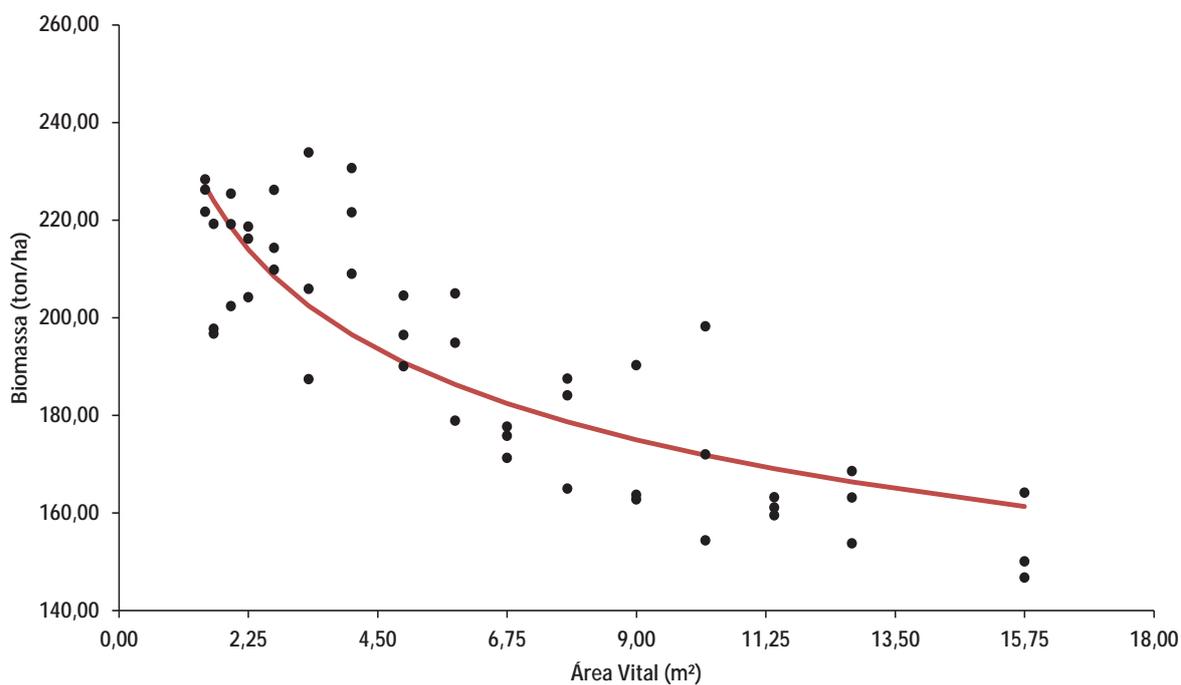


Figura 35– Biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Hiperbólico ajustado

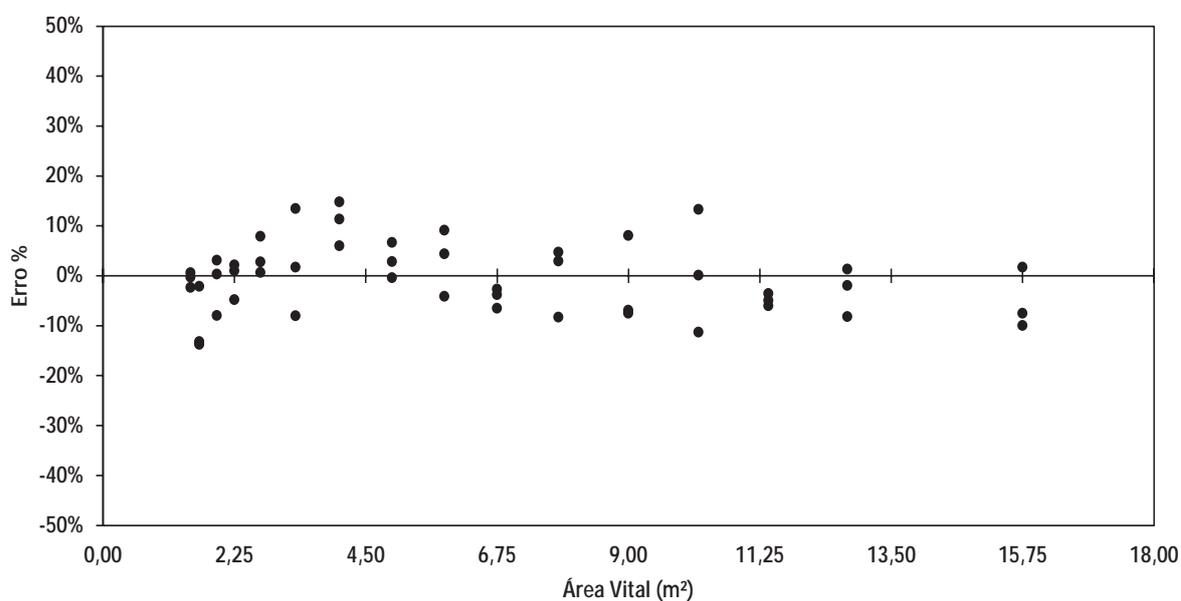


Figura 36 – Distribuição dos resíduos para a biomassa do fuste por hectare em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Hiperbólico aos 72 meses

O aumento da densidade populacional nos espaçamentos adensados proporcionou uma redução na produção de biomassa do fuste por árvore, mas provocou aumento da produção por hectare (Figura 35).

A diferença de produção entre o tratamento adensado e o amplo diminuiu com o avanço da idade, o que se deve ao fato de que nos espaçamentos mais densos, a maior competição entre as árvores resulta na estabilização do acúmulo de biomassa do fuste em menores idades que aquelas observadas em espaçamentos mais amplos. Dessa forma, nos plantios com espaçamento amplo - Tratamentos 12 a 16, apesar de reduzir o número de árvores por unidade de área, a produção de biomassa do fuste seria compensada pelo maior crescimento em diâmetro, o que significa ao final, maior volume de madeira para a indústria. Árvores dominantes, de maiores diâmetros, proporcionam melhor qualidade ao produto final como decorrência direta da maior proporção de fibras de madeira e indiretamente, pela menor percentagem de casca produzida pela madeira mais grossa.

#### **4.7. Análise conjunta de algumas variáveis aos 72 meses de idade**

Os resultados obtidos no item 4.6 mostraram que a maior produção de biomassa do fuste por hectare ocorre nos menores espaçamentos (Figura 35), estando diretamente relacionada ao elevado número de árvores por hectare, já que, nessa situação, tratam-se de indivíduos com menores diâmetros. Esse aspecto é importante quando da análise de rendimentos das atividades de corte, transporte e armazenamento, por exemplo. É consensual entre os silvicultores que florestas de maiores diâmetros permitem aumento no rendimento dessas operações.

O comportamento da produção de biomassa do fuste por hectare em relação aos espaçamentos de plantio foi contrário aos observados para DAP e densidade básica da madeira (Db) (Figuras 17 e 29, respectivamente). Aumentos no espaçamento de plantio conduziram a aumentos nessas variáveis. Sendo assim, a análise conjunta de variáveis que apresentaram comportamentos opostos é importante na indicação de intervalos entre os espaçamentos de plantio.

Os resultados obtidos para DAP e biomassa do fuste por hectare foram sobrepostos graficamente para que as tendências fossem analisadas conjuntamente (Figura 37).

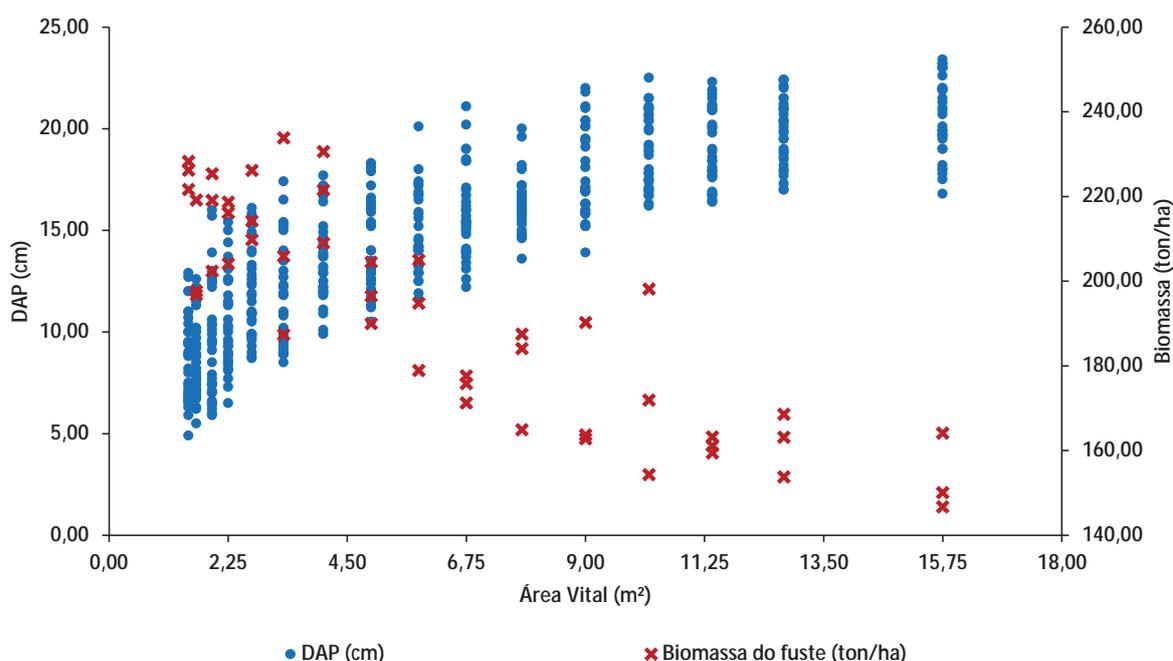


Figura 37 – DAP e biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica das variáveis analisadas

Conforme já comentado, observa-se aumento do DAP e diminuição da biomassa do fuste por hectare com a ampliação do espaçamento de plantio. As áreas vitais onde há sobreposição das “nuvens de pontos” representativas das duas variáveis analisadas variam de 3,30m<sup>2</sup> a 4,95m<sup>2</sup>, intervalo que desponta como uma boa opção, já que concilia-se a produção em biomassa do fuste por hectare com diâmetros mais adequados para uma exploração florestal com uso de equipamentos convencionais, sem maiores comprometimentos nos rendimentos operacionais.

Análise semelhante é apresentada na Figura 38, onde sobrepõem-se as nuvens de pontos representativas da variação da biomassa do fuste por hectare e da densidade

básica, em relação à área vital. Observa-se uma redução na biomassa do fuste por hectare e um leve aumento seguido da estagnação da Db com a ampliação do espaçamento de plantio.

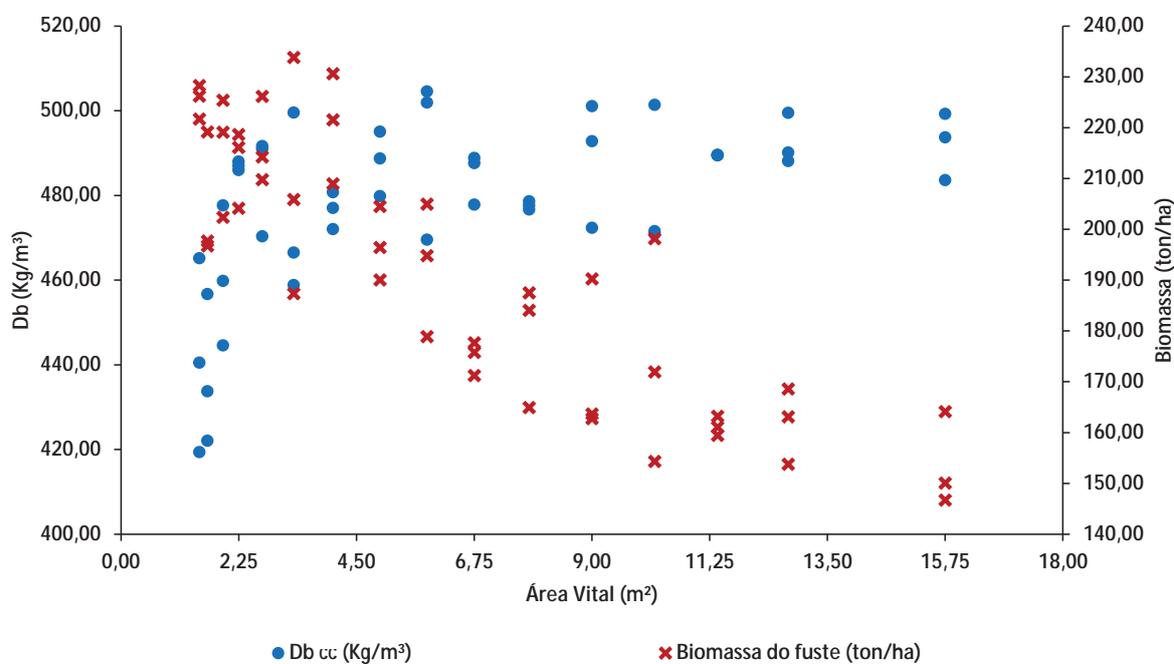


Figura 38 – Densidade básica da madeira com casca e biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica das variáveis analisadas

A densidade básica da madeira sofreu variações somente até 4,05m<sup>2</sup> de área vital por planta e, a partir da área vital de 4,95m<sup>2</sup> não houve mais resposta significativa da densidade com o aumento do espaçamento. Sendo assim, em se considerando essas duas variáveis, o intervalo de áreas vitais escolhido deveria estar compreendido entre 4,05m<sup>2</sup> e 4,95m<sup>2</sup>, o que corresponde a espaçamentos 3x1,35m e 3x1,65m.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitiu as seguintes conclusões:

- No crescimento do plantio, observado dos 36 aos 72 meses, quanto maior o espaçamento de plantio, maior foi o diâmetro e a altura das árvores, esta variação foi mais intensa para a variável diâmetro;
- No crescimento do plantio, a evolução da área basal do povoamento ao longo dos anos retrata que os espaçamentos adensados - Tratamentos 1 a 6 - foram os que apresentaram os melhores resultados, em função da maior frequência de indivíduos por hectare. O incremento médio mensal em área basal também apresentou uma relação inversa com o aumento do espaçamento de plantio, pois os maiores incrementos mensais ocorreram nos espaçamentos mais adensados;
- Aos 72 meses - estabelecida como idade potencial de corte do povoamento - os espaçamentos amplos - Tratamentos 12 a 16 - tiveram maior produção volumétrica por árvore em função da maior disponibilidade de área vital para seu desenvolvimento;
- Árvores de maiores diâmetros possuem um menor percentual de casca do que as de menores diâmetros; as árvores de maiores diâmetros foram características dos espaçamentos amplos;
- Nos espaçamentos adensados ocorreu a maior produção volumétrica de madeira por hectare;

- O comportamento da densidade básica da madeira nos diferentes espaçamentos sofreu variações somente até 4,05m<sup>2</sup> de área vital por planta e, a partir do espaçamento com 4,95m<sup>2</sup> de área vital, não houve mais resposta significativa da densidade com o aumento do espaçamento.
- Nos espaçamentos adensados ocorreu a maior produção de biomassa do fuste por hectare, porém o diâmetro médio das árvores foi menor;
- Conciliando-se a produção em biomassa do fuste por hectare com diâmetros mais adequados para uma exploração florestal com uso de equipamentos convencionais, sem maiores comprometimentos nos rendimentos operacionais, as áreas vitais mais adequadas variaram de 3,30m<sup>2</sup> a 4,95m<sup>2</sup> (espaçamentos de plantio de 3x1,10m e de 3x1,65m, respectivamente);
- Conciliando-se os ganhos de densidade básica da madeira, sem perdas expressivas na produção de biomassa do fuste por hectare, as áreas vitais mais adequadas variaram de 4,05m<sup>2</sup> a 4,95m<sup>2</sup>, o que correspondeu a espaçamentos de 3x1,35m e 3x1,65m, respectivamente;

Na continuidade dessa linha de pesquisa, sugere-se a instalação de experimentos com os tratamentos que revelaram maior potencialidade para as variáveis estudadas, analisados em delineamento convencional, com aleatorização e repetição dos tratamentos, para que assim, em conjunto com estudos de viabilidade econômica, a escolha do melhor espaçamento de plantio seja completamente balizada.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.

ASSIS, T. F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos\\_outros2.html](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros2.html)>. Acesso em: 26 out. 2009.

ASSIS, T. F. Os propulsores da produtividade dos eucaliptos. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 28, nov./fev. 2005/2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2011**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

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

BAMBER, R. K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry Research**, Melbourne, n. 12, p. 163-167, 1982.

BAUDER, J. W.; HANKS, R. J.; JAMES, D. W. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, n. 39, p. 1187-1192, 1975.

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

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

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

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Florida, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BOUVET, J. M.; BAILLERES, H. Expression of some growth and wood property traits among *Eucalyptus urophylla* x *grandis* clones in Congo. In: CRCTHF- IUFRO CONFERENCE, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 19-24.

BOUVET, J. M. et al. Genetic and environmental effects on growth and wood basic density with two *Eucalyptus* hybrids. In: CONGRESS ON CONNECTING BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY, 1999, Nancy. **Proceedings...** Nancy: IUFRO, p. 15-19, 1999.

BRASIL, M. A. M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propínqua* em função do local e do espaçamento**. 1972. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

BRASIL, M. A. M. **Densidade básica e características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 3 anos de idade**. 1976. 133 f. Tese (Doutorado em

Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *E. alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden, aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, v. 2/3, p. 129-149, 1971.

BRITO, J. O. **Utilização da madeira com casca na produção de celulose sulfato de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf.** 1978. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Utilização integral da árvore:** a casca. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1979. 4 p. (Circular técnica, 50).

BRITO, C. C. R. et al. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 175-185, abr./jun. 2007.

BUSNARDO, C. A. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: III. A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. v. 1, p. 55-72.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal:** perguntas e respostas. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 470 p.

CHALITA, M. A. C. **Delineamentos sistemáticos.** 1991. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

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

COMPANHIA MELHORAMENTOS DE SÃO PAULO. **História.** 2009. Disponível em: <<http://www2.melhoramentos.com.br/melhoramentos/PT/história.as/>>. Acesso em: 6 out. 2009.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

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

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BACKER, F. S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 492 p.

DAWKINS, H. C. The pudden clinal plot: thinning experiments without surrounds. **Empire Forestry Review**, Oxford, v. 39, p. 1968-1971, 1960.

DI CIERO, L. **Biotecnologia florestal: vantagens econômicas e benefícios para o meio ambiente**: apresentação. Disponível em: <[http://www.cib.org.br/pdf/biotecnologia\\_florestal.pdf](http://www.cib.org.br/pdf/biotecnologia_florestal.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2009.

DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Collingwood: CSIRO, 1997. 132 p.

EVERT, F. **Spacing studies**: a review. Ottawa: Canadian Forestry Service, 1971. 95 p (Information report, FMR-X-37).

FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 1970. 62 f. Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. A1-A15, 1978. Suplemento.

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

FOELKEL, C. E. B. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais visando a produção de celulose e papel. **Eucalyptus Online Book e Newsletter**, 2005. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/>>. Acesso em: 27 out. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Praticas de plantación forestal en America Latina**. Roma: FAO, 1960. (Cuadernos de fomento forestal, 15).

GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1991. 10 p. (Circular técnica, 179).

GARLIPP, R. Eucalipto: mitos e verdades. In: SEMINÁRIO DE FLORESTAS PLANTADAS, 2007, Campo Grande. **Anais...** Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/secure/PalestraCampoGrande-EucaliptoMitoseVerdades.pdf/>>. Acesso em: 5 jan. 2010.

GOULART, M. et al. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob efeito do espaçamento de plantio e da posição axial do tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

GOUVEA, C. F. et al. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v. 1, p. 355-360.

GOMEZ, K. A.; DEDATTA, S. K. Missing hills in rice experimentation plots. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 163-164, 1972.

JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. T. **Planeamento florestal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1967. 798 p.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três diferentes espaçamentos, em uma sequencia de idades**. 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

LAND, S. B. et al. Genetic, site, and within-tree variation in specific gravity and moisture content of young sycamore trees. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 66, n. 3, p. 149-153, 1983.

LAND, S. B.; NANCE, W. L. Apa: a useful tool for analyses or progeny tests. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 19., 1987, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: SFES, 1987. p. 300-311.

LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos.** 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

LEVENE, H. **Contributions to probability and statistic:** essays in honor of Harold Hotelling. Standford: Standford University Press, 1960. 517 p.

LIN, C. S.; MORSE, P. M. A compact design for spacing experiments. **Biometrics**, Washington, DC, v. 31, p. 661-671, Sept. 1975.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

MALAN, F. S. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 157, p. 16-23, 1991.

MELLO, H. A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J. W. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, v. 2/3, p. 3-30, 1971.

MIGLIORINI, A. J. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta.** 1986. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química da madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft.** 2004. 135 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

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

MORA, A. L. **Interação com espaçamento e locais em clones de *Eucalyptus* spp. no Norte do Estado da Bahia.** 1986. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais.** 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras Lavras, 2006.

MÜLLER, M. D. et al. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Revista Biomassa e Energia**, Viçosa, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

NAMKOONG, G. Application of Nelder's designs in tree improvement research. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah. **Proceedings...** Macon: SCFTI, 1966. p. 24-37.

NELDER, J. A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, Washington, DC, n. 18, p. 283-307, 1962.

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

ODA, M. L. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um experimento em delineamento sistemático tipo leque.** 2005. 72 f. (Mestrado em Ciência Florestal)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

ODA-SOUZA, M. L. et al. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 499-509, 2008.

OLIVEIRA, R. C. de. **Melhoramento genético e manejo florestal na Duratex**: genética e nutrição de plantas. 2010. Disponível em: <[http://www.ipef.br/eventos/2010/melhoramento\\_e\\_manejo/raul\\_duratex.pdf](http://www.ipef.br/eventos/2010/melhoramento_e_manejo/raul_duratex.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2011.

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

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

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 196 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEREIRA, J. C. D. **Influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliotti* Engelm var. *elliotti*.** 1982. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n. 2/3, p. 215-227, Jan. 2003.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O eucalipto**: um século no Brasil. São Paulo: Antonio Bellini, 2007. 132 p.

QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **A celulose de eucalipto**: uma oportunidade brasileira. Vinhedo: Avis Brasilis, 2008. 156 p.

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

RATNIEKS, E. et al. **Influência do espaçamento entre árvores sobre a qualidade da madeira e polpa de *E. dunnii***. Guaíba: Riocell, 1987. 115 p. (Relatório técnico, 132).

REVISTA DA MADEIRA. Melhoramento genético: melhoramento genético para a qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, n. 75, 2003. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=403&subject=Melhoramento%20Gen%C3%A9tico&title=Melhoramento%20gen%C3%A9tico%20para%20a%20qualidade%20da%20madeira](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=403&subject=Melhoramento%20Gen%C3%A9tico&title=Melhoramento%20gen%C3%A9tico%20para%20a%20qualidade%20da%20madeira)>. Acesso em: 6 jan. 2011.

REVISTA DA MADEIRA. Cenário florestal: florestas no mundo chegam 4 bilhões de hectares. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 126, 2011. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1510&subject=Cen%20Eri%20Florestal&title=Florestas%20no%20mundo%20chegam%204%20bilh%20es%20de%20hectares](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1510&subject=Cen%20Eri%20Florestal&title=Florestas%20no%20mundo%20chegam%204%20bilh%20es%20de%20hectares)>. Acesso em: 6 jan. 2011.

REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para produção de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 30-43, 1983.

ROSSI, D. T. **Influência das camadas de crescimento na densidade da madeira de clones de *Eucalyptus***. 2007. 88 f. Relatório (Iniciação Científica)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** 96 f. 2008 Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SCHÖNAU, A. P. G. The effect of planting espacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 88, p. 16-23, 1974.

SCHÖNAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 29, p. 245-266, 1989.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**. Lavras: UFLA; FAEPE, 2005. v. 1 e 2.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA; FAEPE, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. **O mundo eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura**. Rio de Janeiro: Mar de Ideias, 2008. v. 1, 72 p.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, ago. 1989.

SILVA, J. C.; RECH, C. O eucalipto e suas origens. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 59, p. 10-12 set. 2001a.

SILVA, J. C.; RECH, C. Melhoramento genético para qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 59, p. 48-54 set. 2001b.

SILVA, J. A. A. da; MEUNIER, I. M. J; FERRAZ, I. Modelagem do crescimento em altura de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., em solos do agreste de Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 4, p. 443-450, 1996.

SIMÕES, J. W. et al. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. **Scientia IPEF**, Piracicaba, v. 20, p. 77-97, 1980.

SMITH, J. H. G.; KOSAK, A. Thickness, moisture content, and specific gravite of inner and outer bark some pacific northwest trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 21, n. 2, p. 38-40, 1971.

SOUZA, R. N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1989. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

SOUZA, A. P.; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 3, n. 1, p. 16-27, jan./jun. 1979.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal: com exemplos e exercícios**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 71 p.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

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

VENUS, J. C.; CAUSTON, D. R. Plant growth analysis: the use of the Richards function as an alternative to polynomial exponentials. **Annals of Botany**, London, v. 43, p. 623-632, 1979.

VIGNERON, J.; GERARD, J.; BOUVET, J. M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* hybrids in Congo. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p. 68-71.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, n. 1, p. 21, 1984.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 30 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 210-217, 1981.

WENZL, H. F. J. **The chemical technology of wood**. New York: Academic Press, 1970. 692 p.

YARED, J. A. G.; LEITE, H. G.; SILVA, R. R. F. Volumetria e fator de forma de morotó (*Didymopanax morototonii* Aubl. Decne. et Planch.) sob diferentes espaçamentos. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993. Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variantion**: it causes and control. Berlin: Springer Verlag, 1989. 363 p.

## **7. APÊNDICE**

## **7.1. APÊNDICE I**

Modelos ajustados a variável diâmetro em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

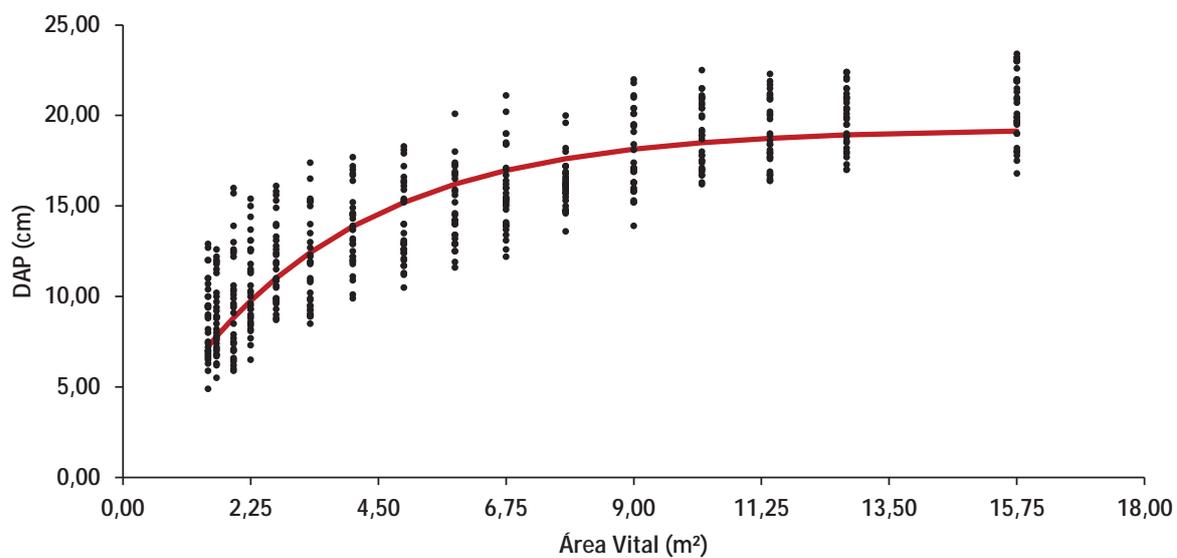


Figura AI-1 – Diâmetro à altura do peito aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado

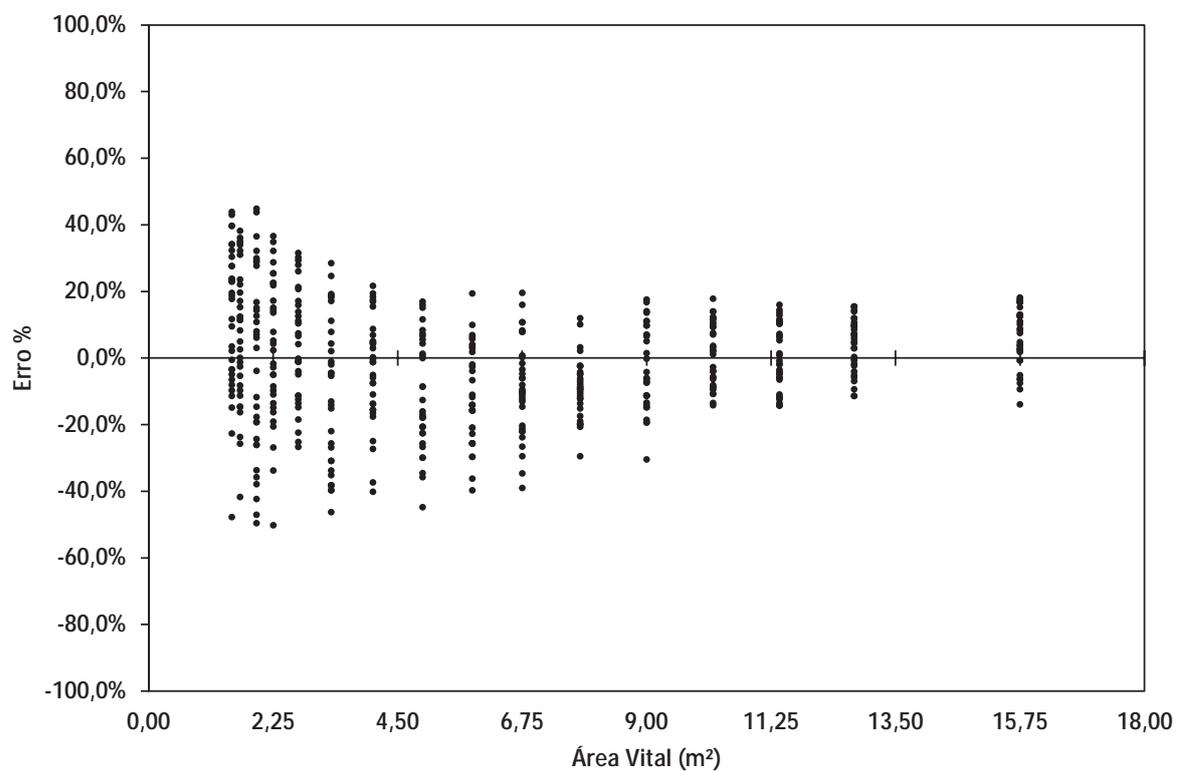


Figura AI-2 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses

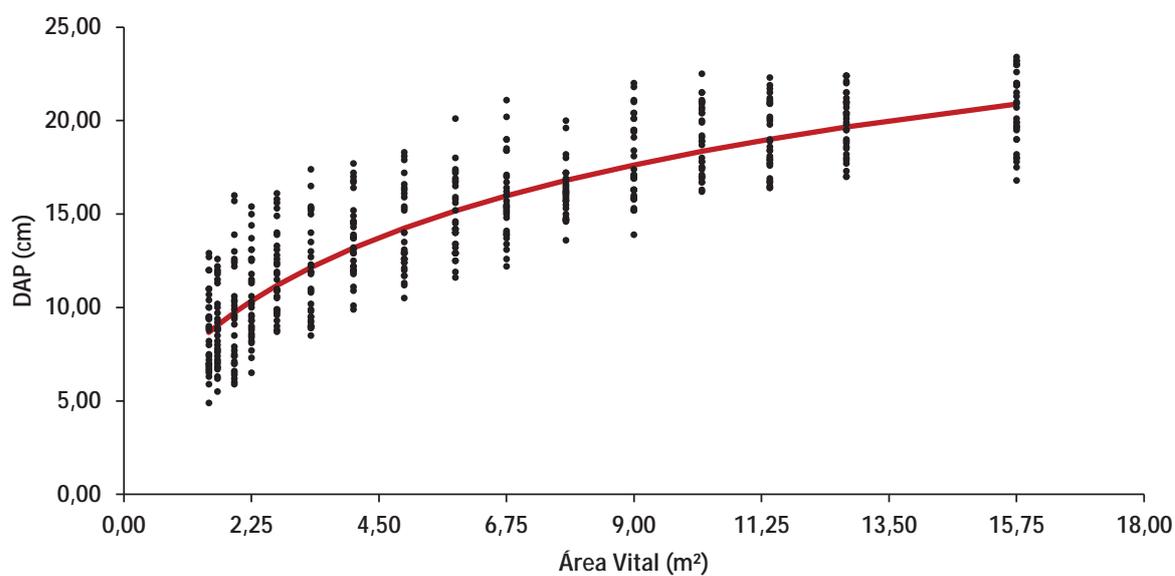


Figura AI-3 – Diâmetro à altura do peito aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Weibull ajustado

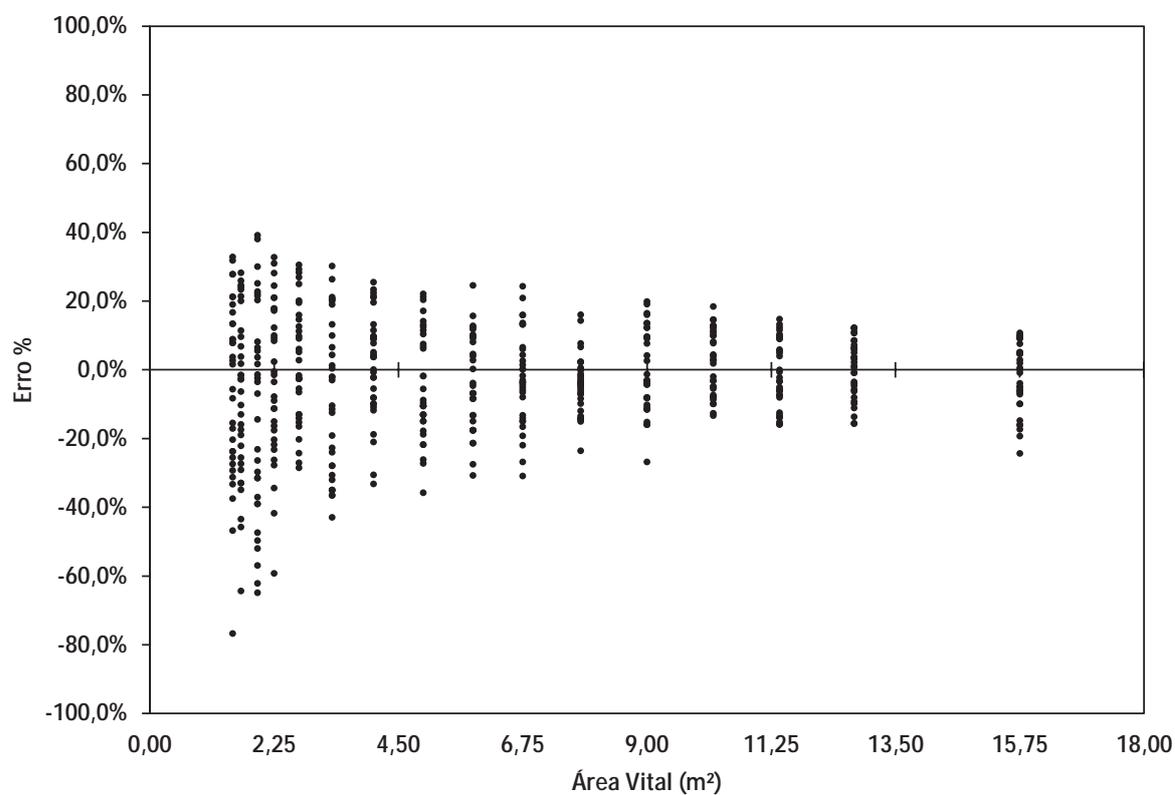


Figura AI-4 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Weibull, aos 72 meses

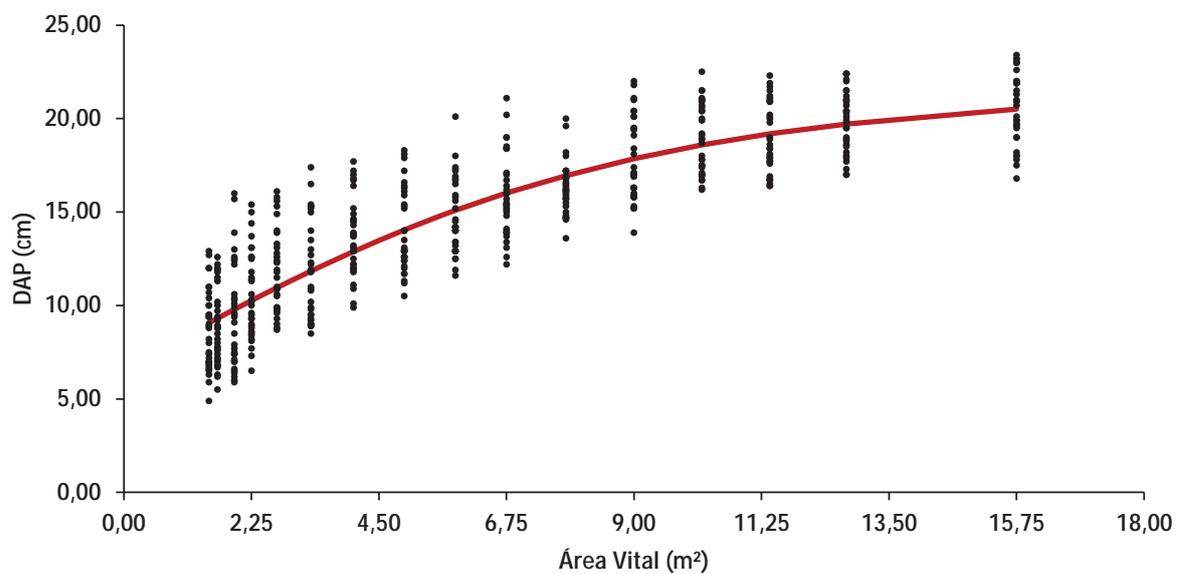


Figura AI-5 – Diâmetro à altura do peito aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Gompertz ajustado

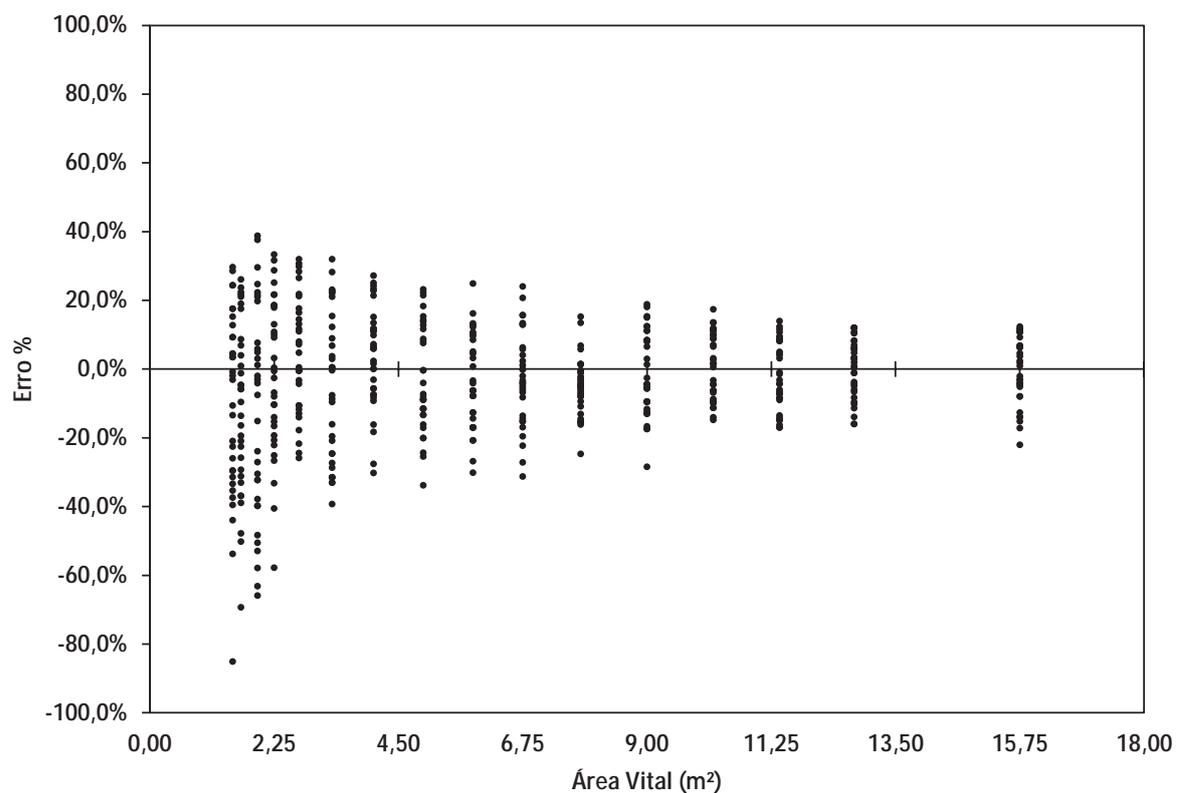


Figura AI-6 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Gompertz, aos 72 meses

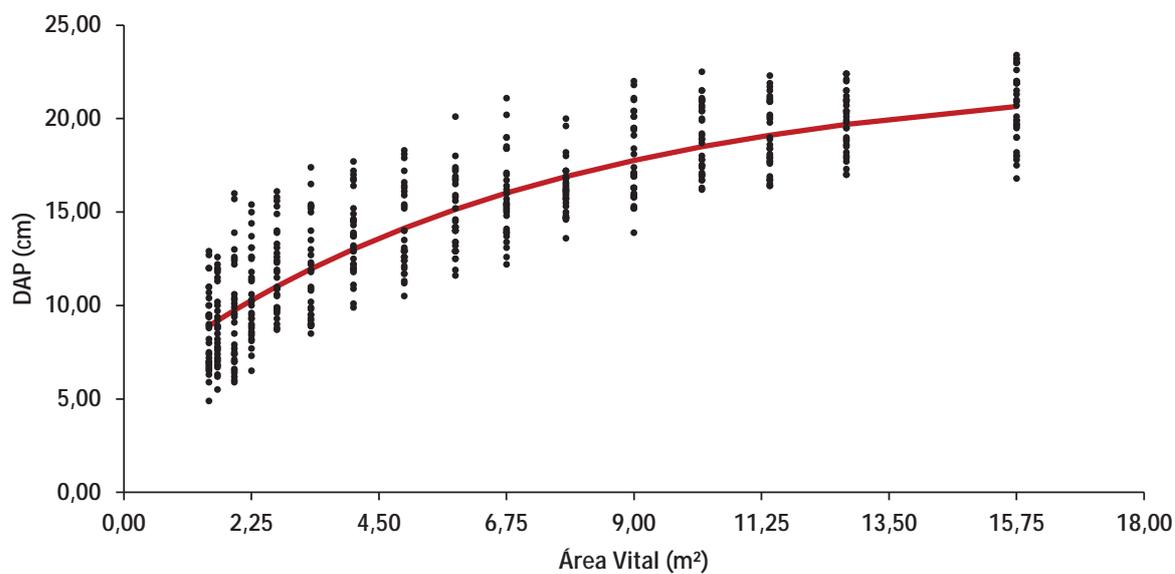


Figura AI-7 – Diâmetro à altura do peito aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Brody ajustado

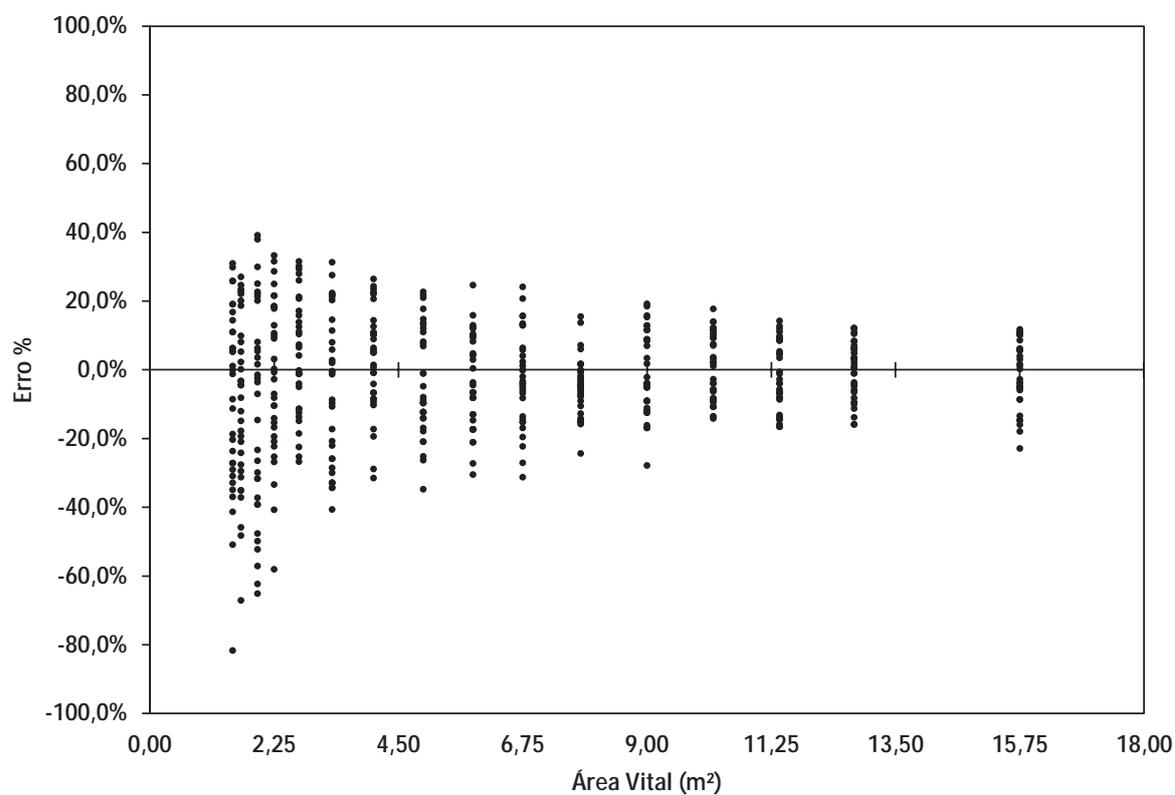


Figura AI-8 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Brody, aos 72 meses

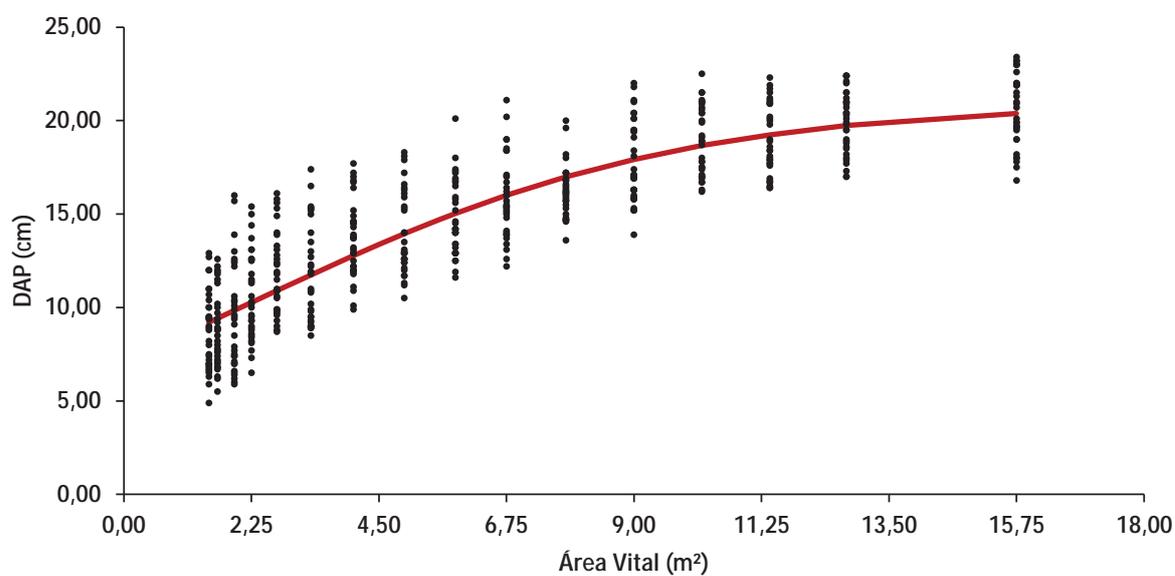


Figura AI-9 – Diâmetro à altura do peito aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Logístico ajustado

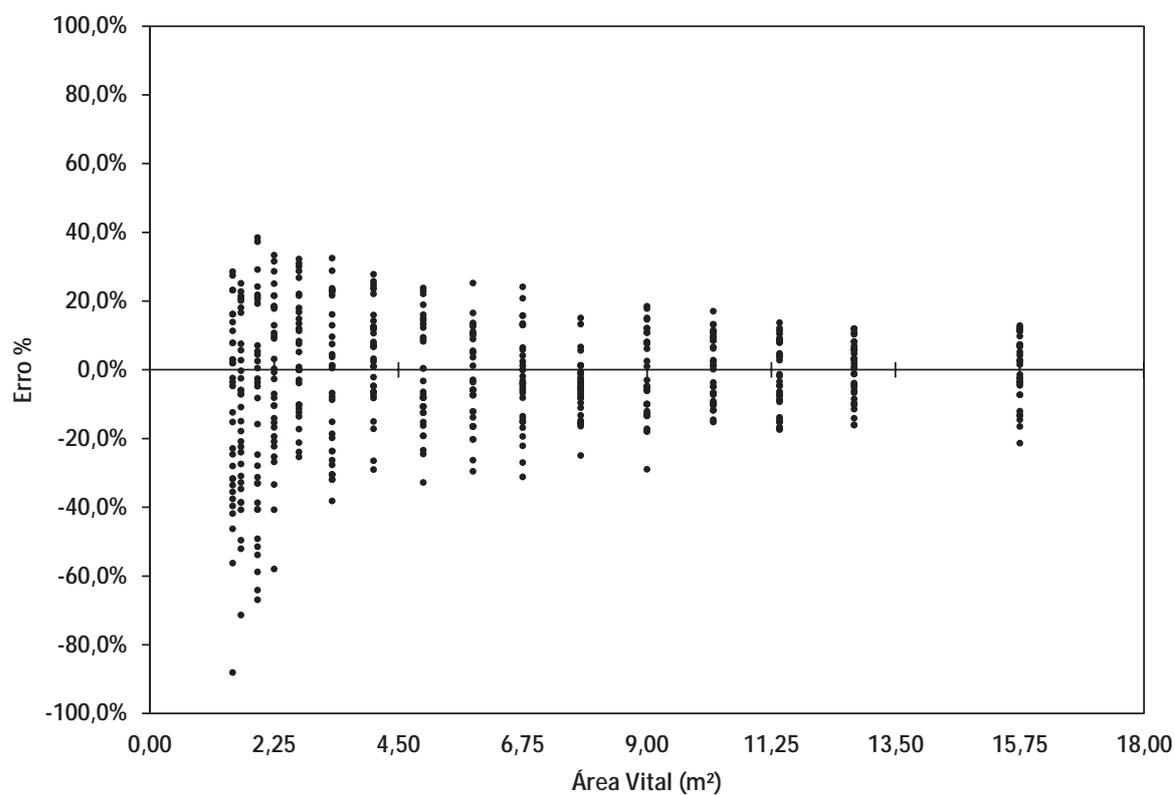


Figura AI-10 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Logístico, aos 72 meses

## **7.2. APÊNDICE II**

Modelos ajustados a variável altura em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

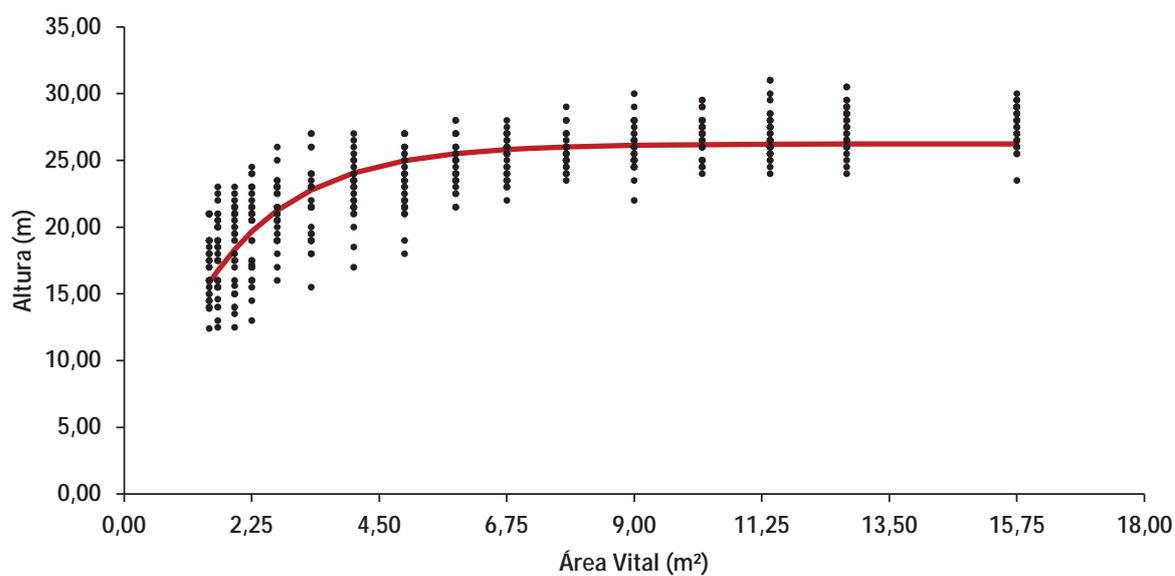


Figura AII-1 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado

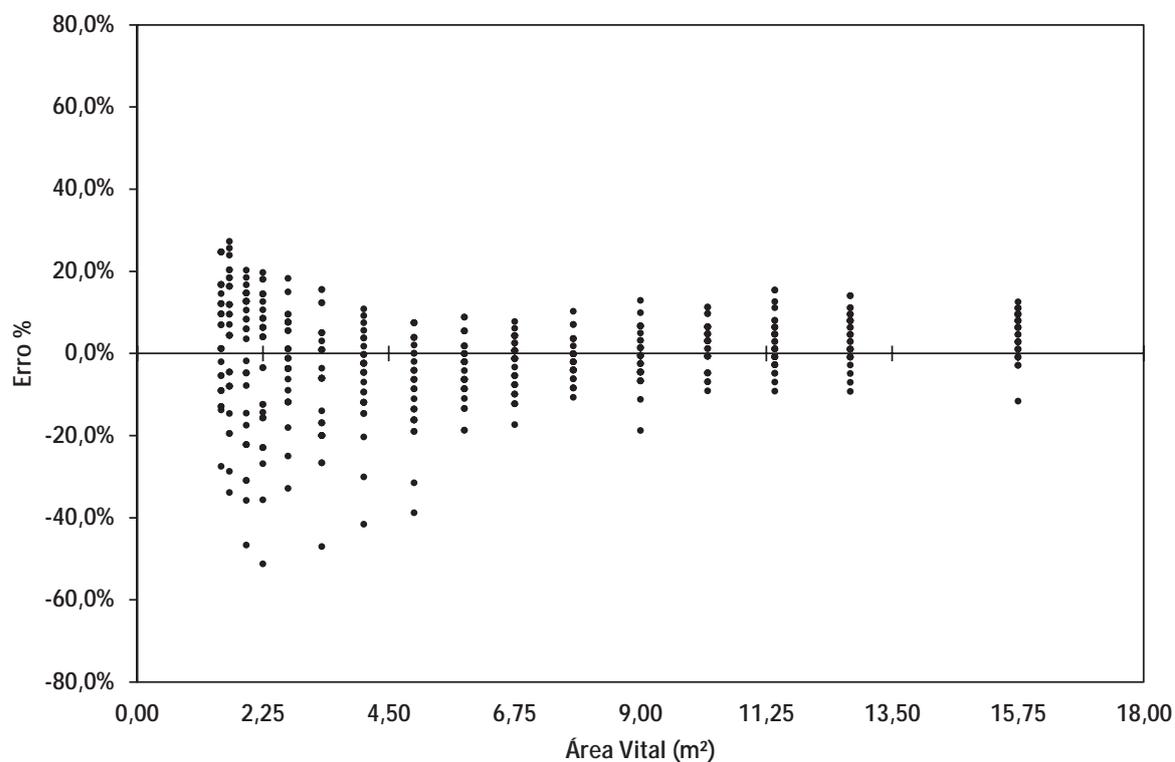


Figura AII-2 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Von Bertalanffy, aos 72 meses

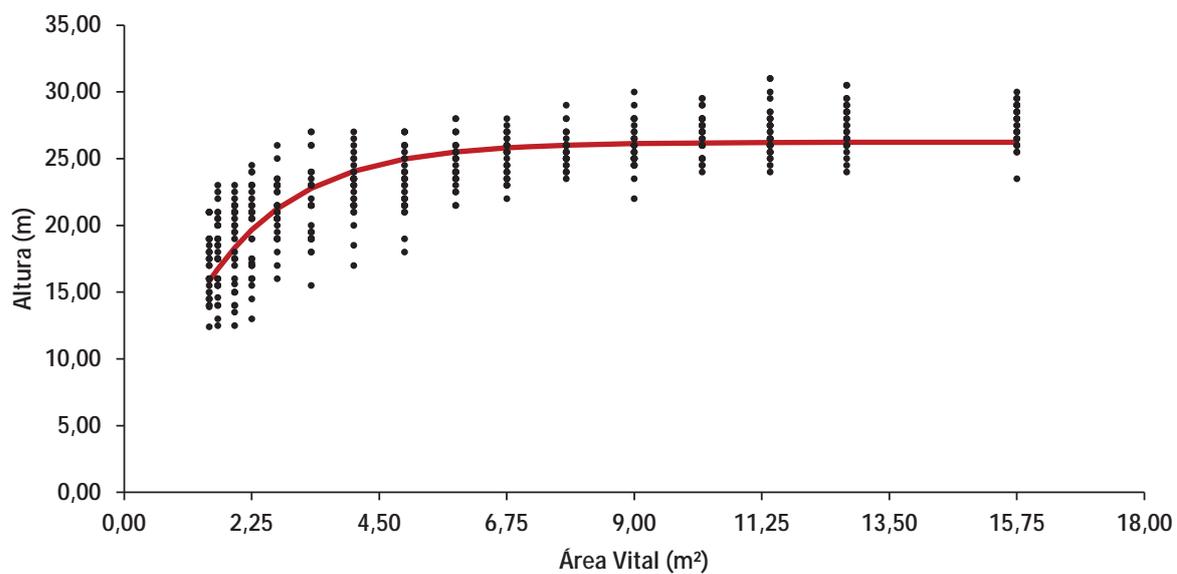


Figura AII-3 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado

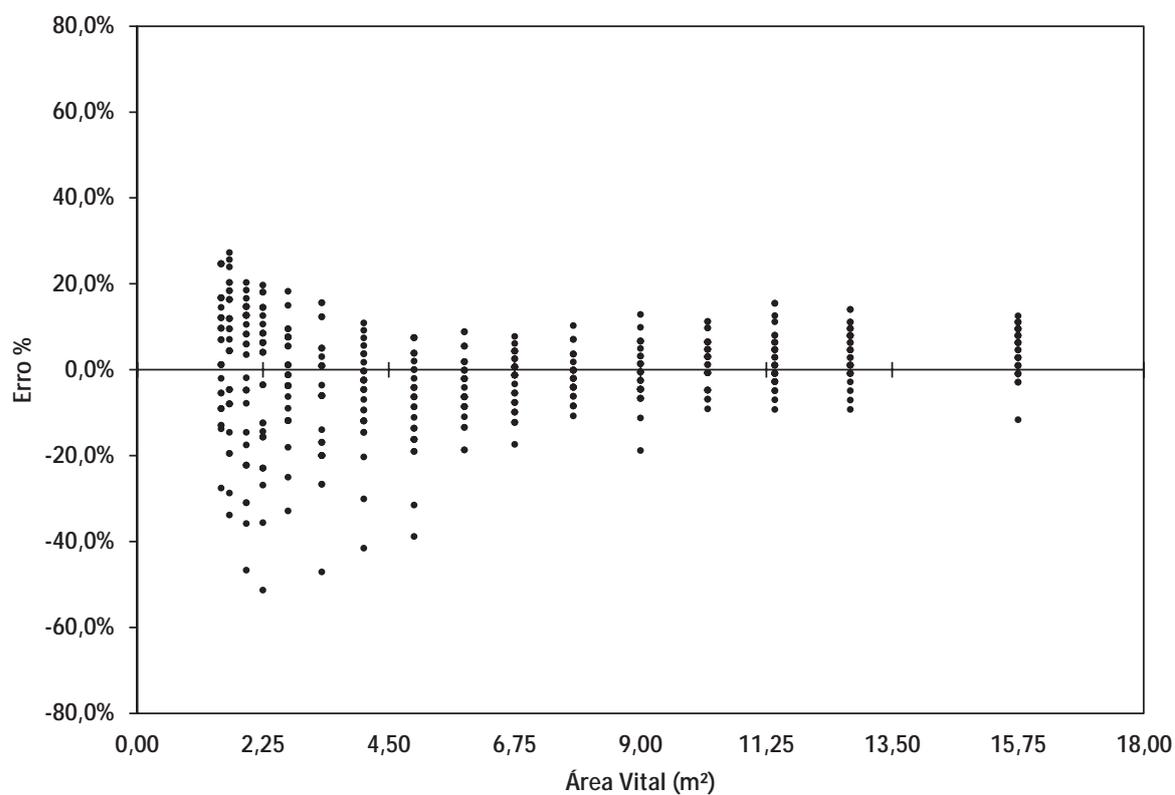


Figura AII-4 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses

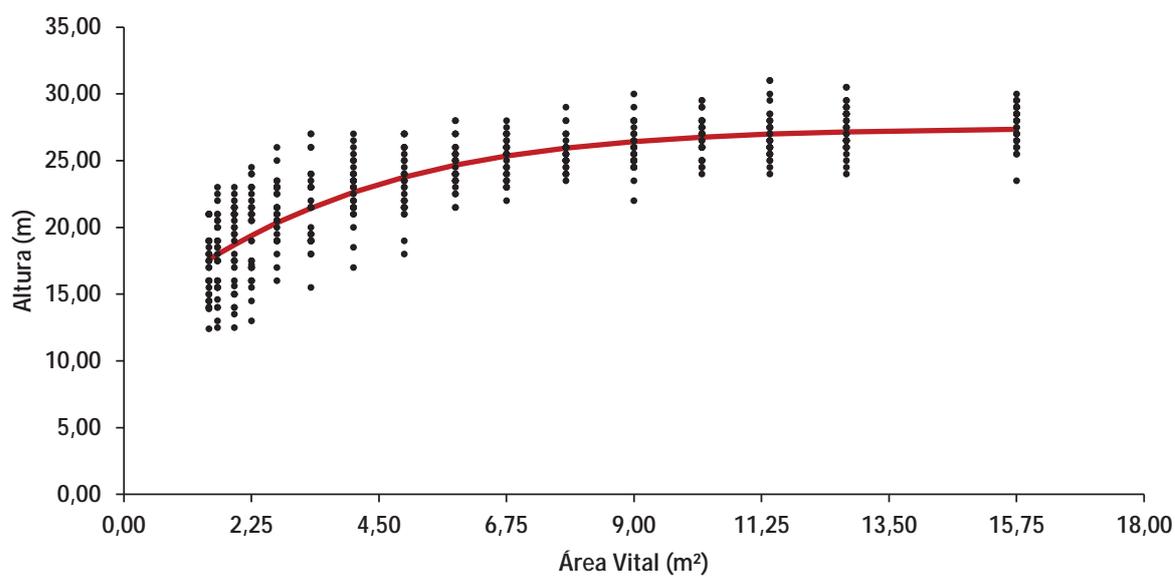


Figura AII-5 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Gompertz ajustado

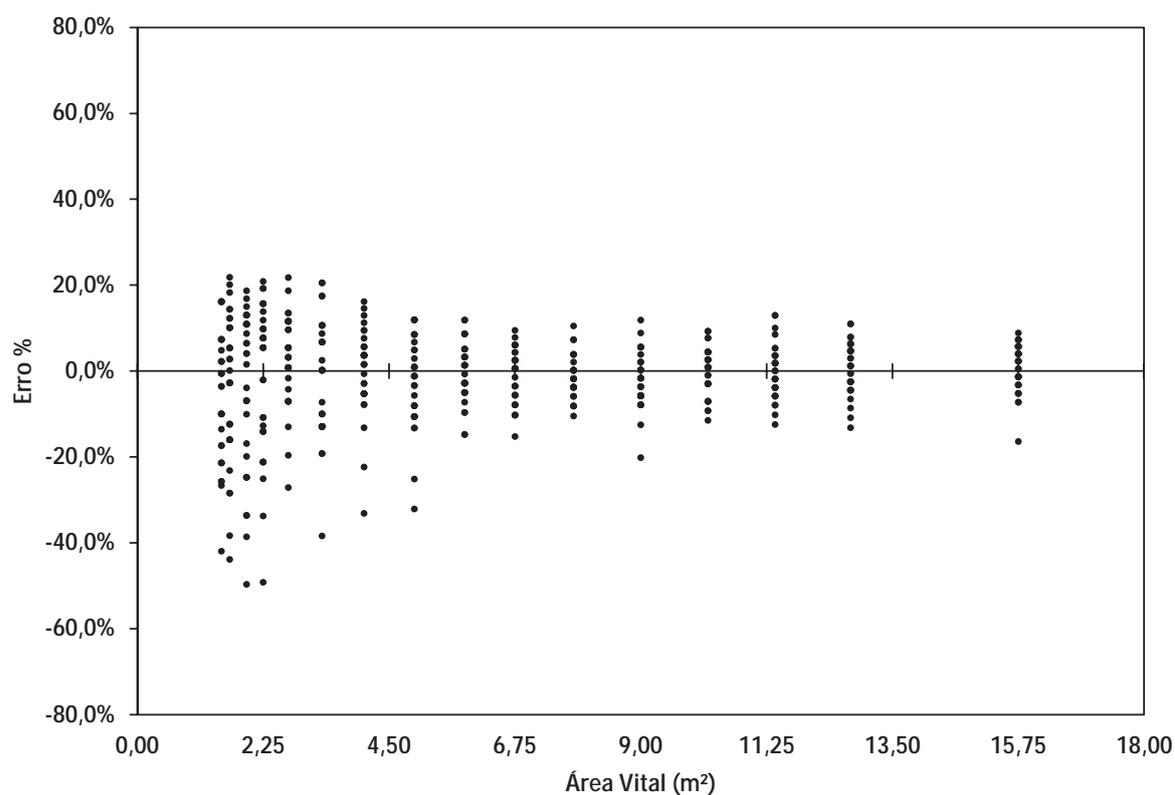


Figura AII-6 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Gompertz, aos 72 meses

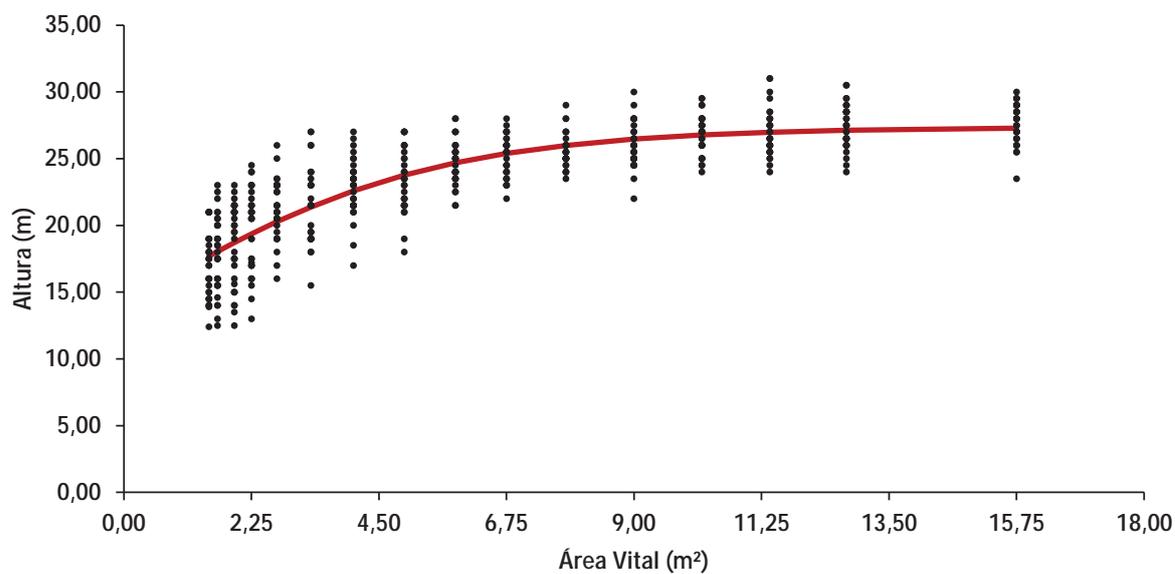


Figura AII-7 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Logístico ajustado

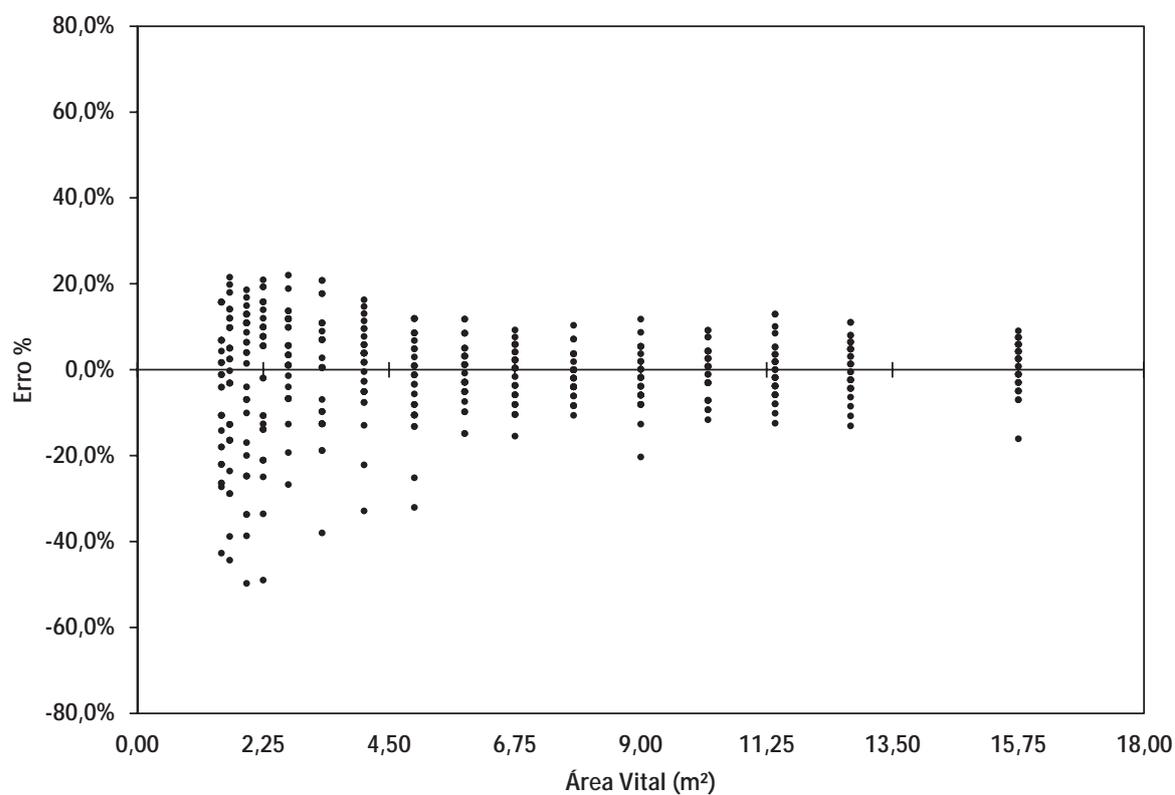


Figura AII-8 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Logístico, aos 72 meses

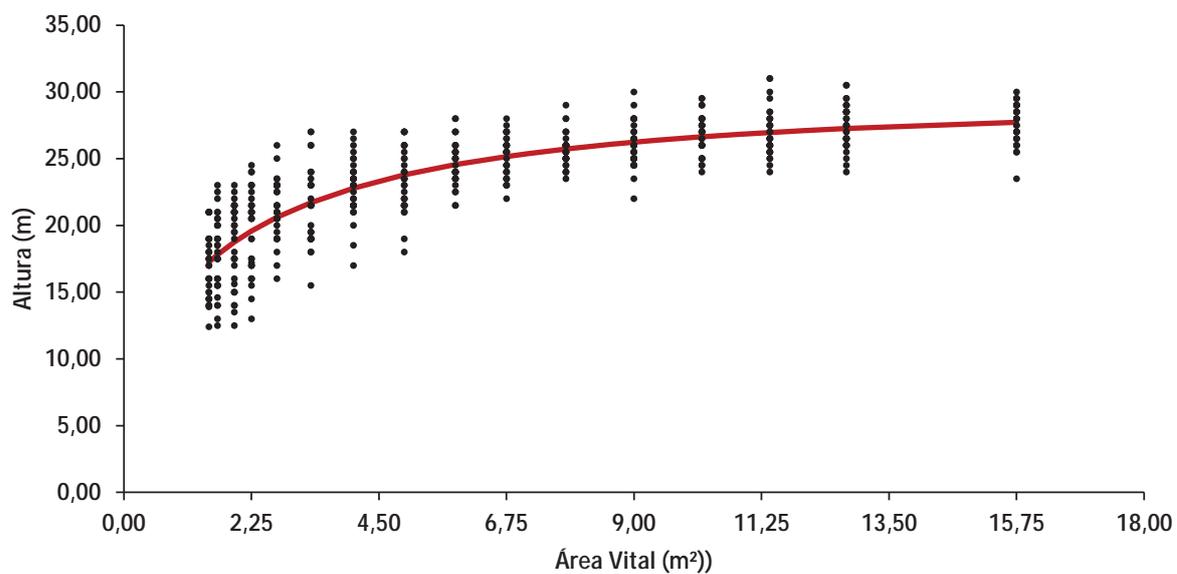


Figura AII-9 – Altura aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Weibull ajustado

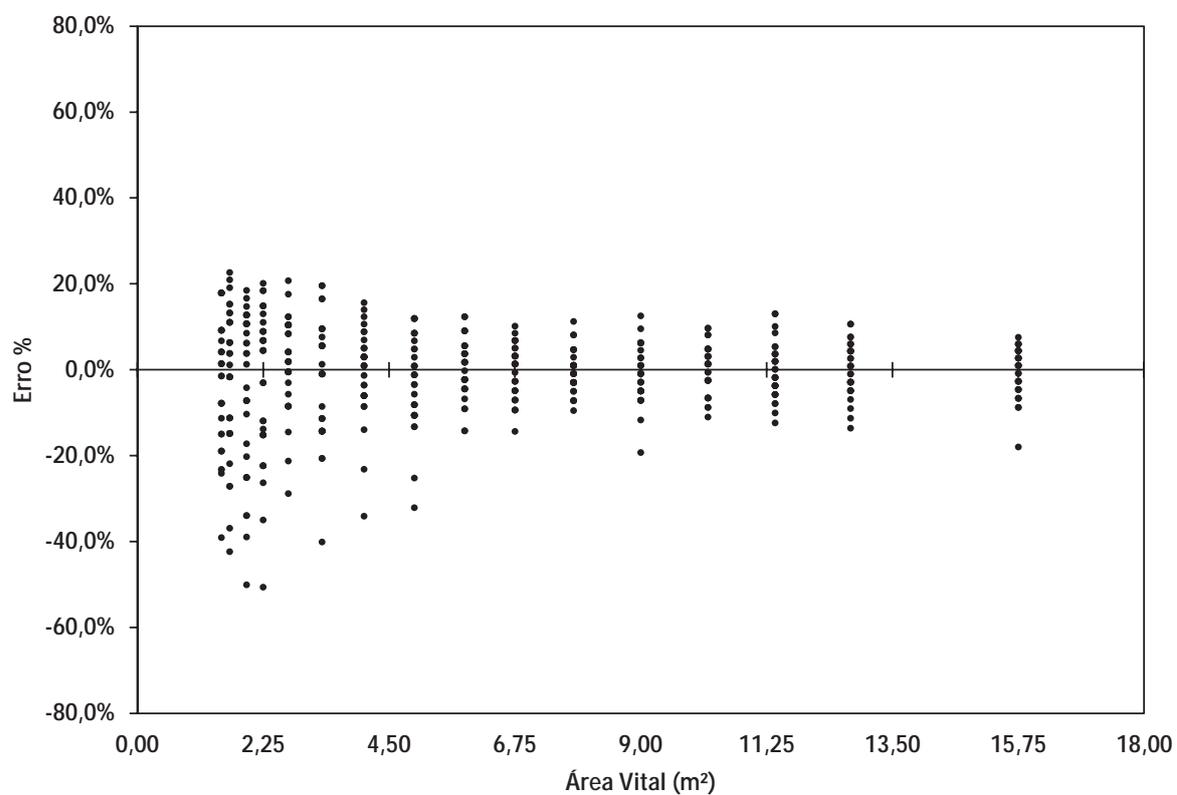


Figura AII-10 – Distribuição dos resíduos para altura em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Weibull, aos 72 meses

### **7.3. APÊNDICE III**

Modelos ajustados a variável volume ( $m^3$ ) por árvore e por hectare em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

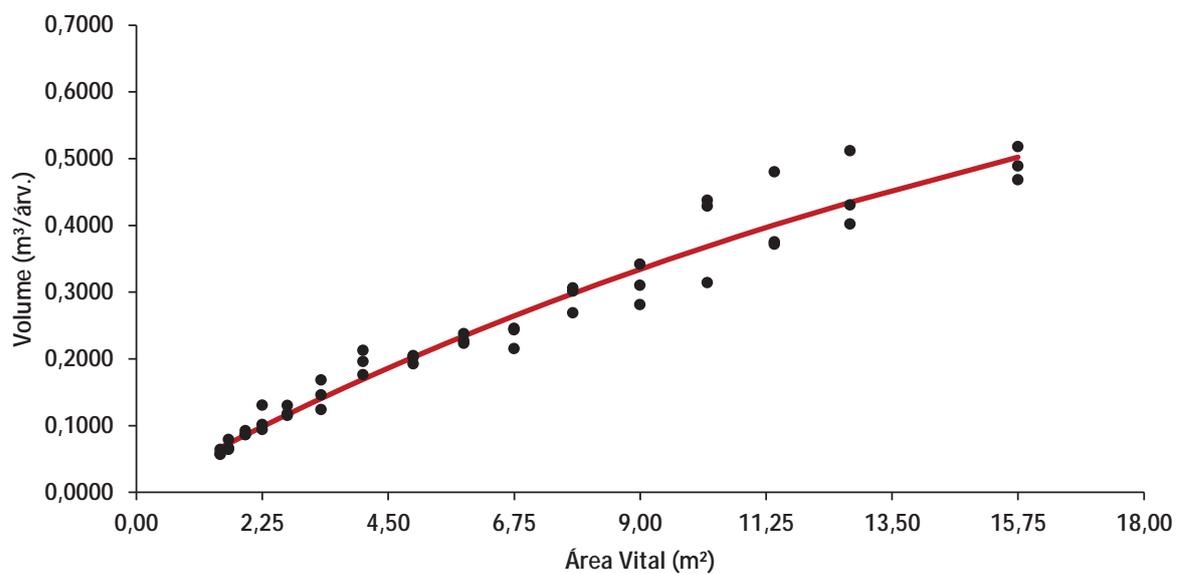


Figura AIII-1 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado

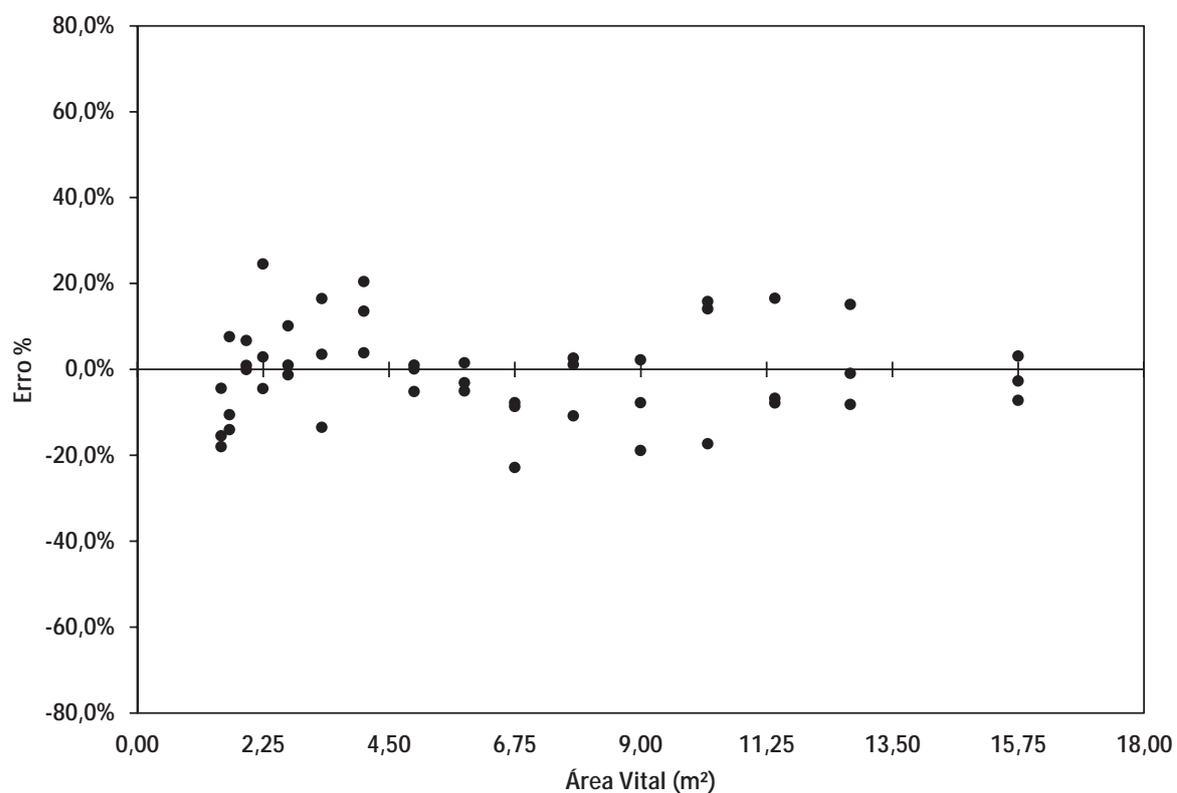


Figura AIII-2 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Von Bertalanffy, aos 72 meses

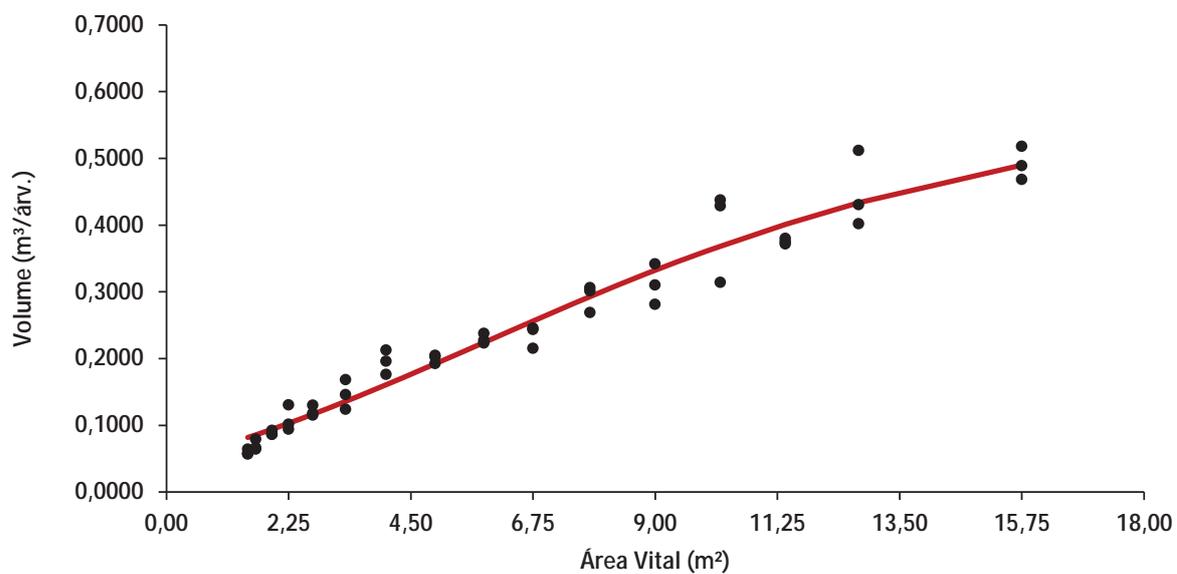


Figura AIII-3 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Gompertz ajustado

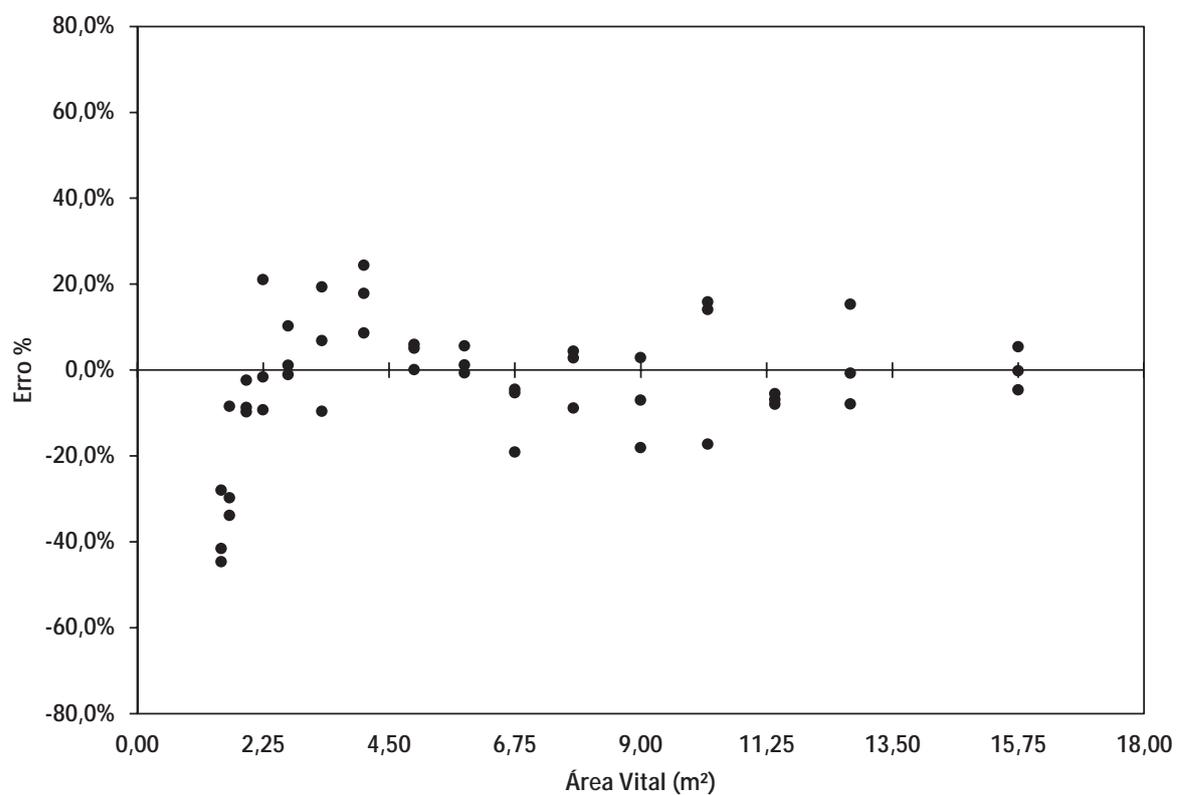


Figura AIII-4 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Gompertz, aos 72 meses

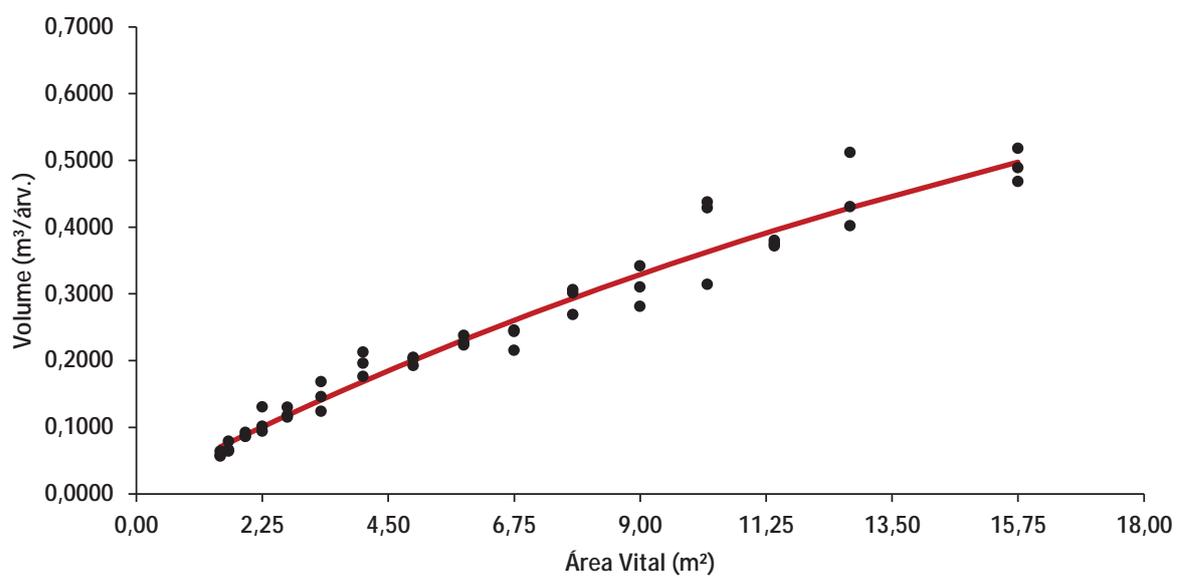


Figura AIII-5 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Brody ajustado

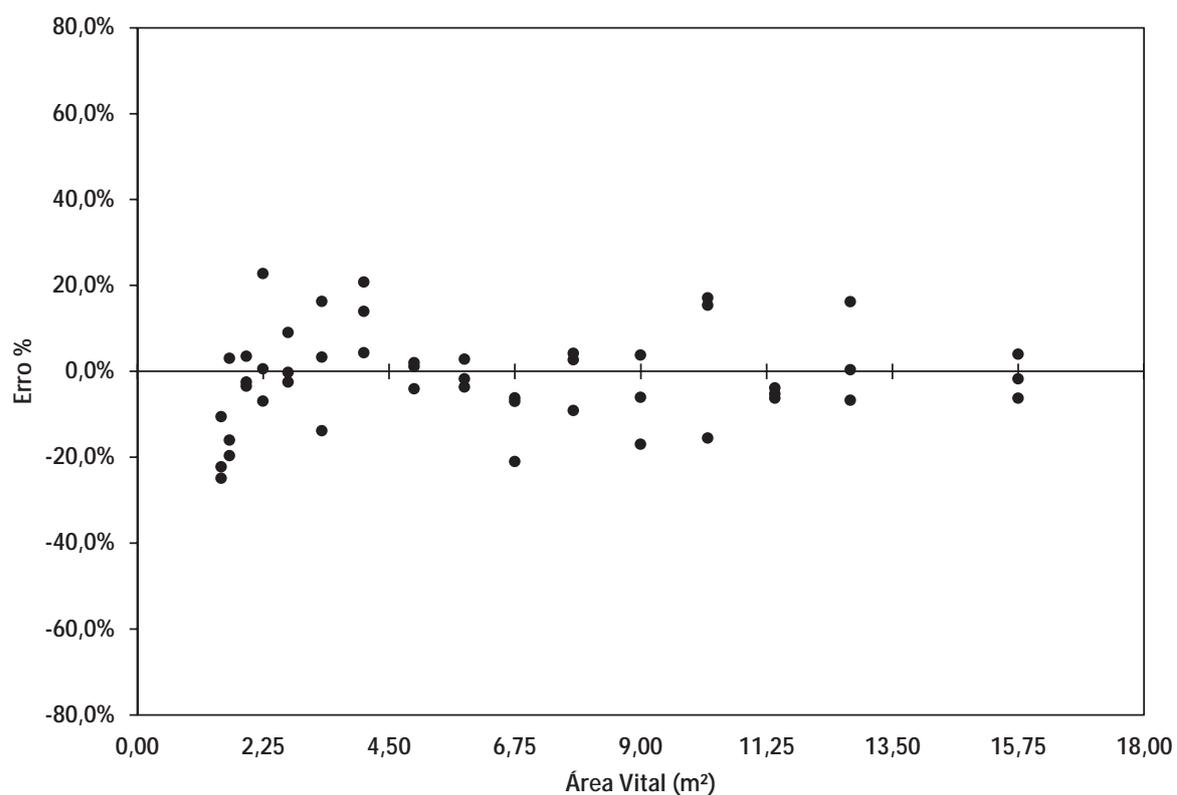


Figura AIII-6 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Brody, aos 72 meses

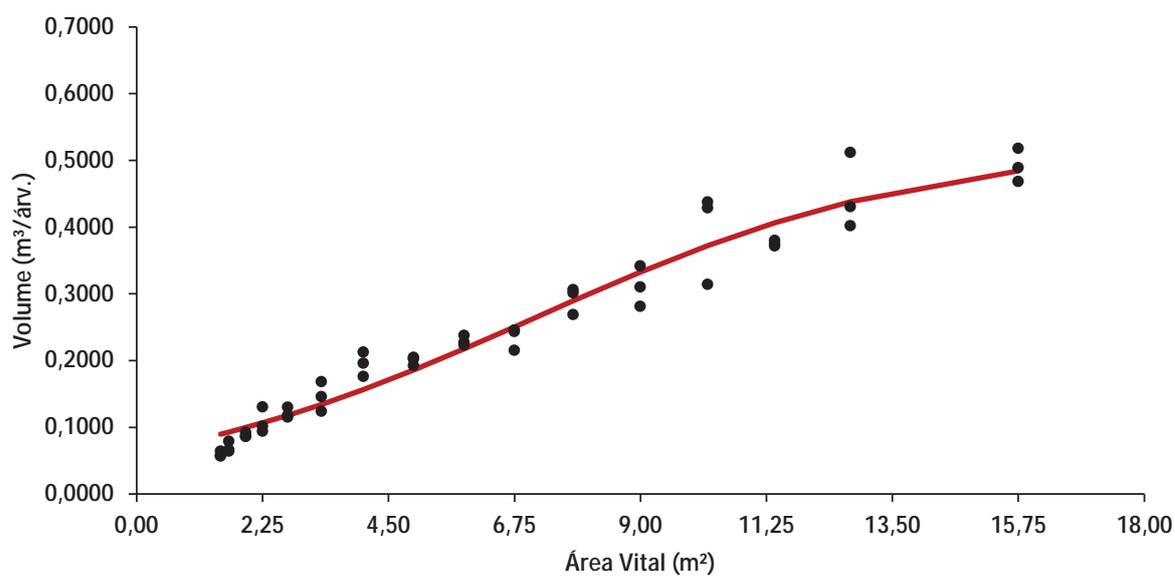


Figura AIII-7 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Logístico ajustado

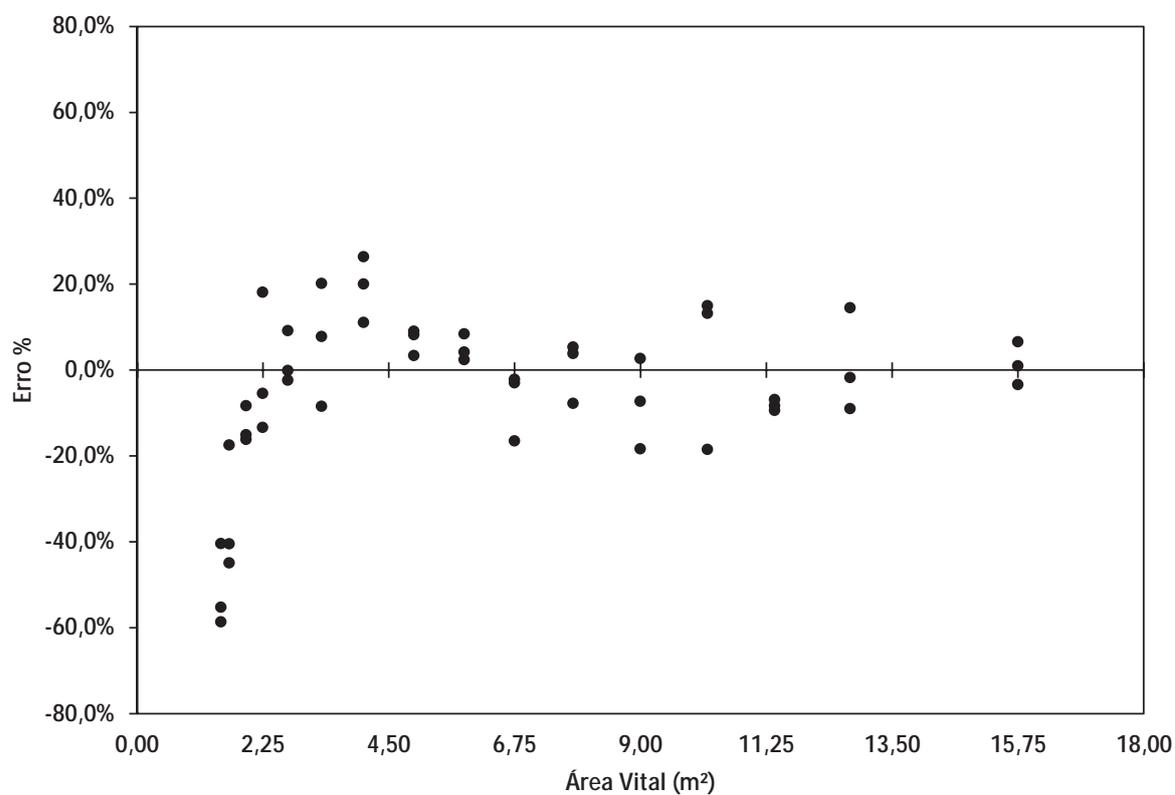


Figura AIII-8 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Logístico, aos 72 meses

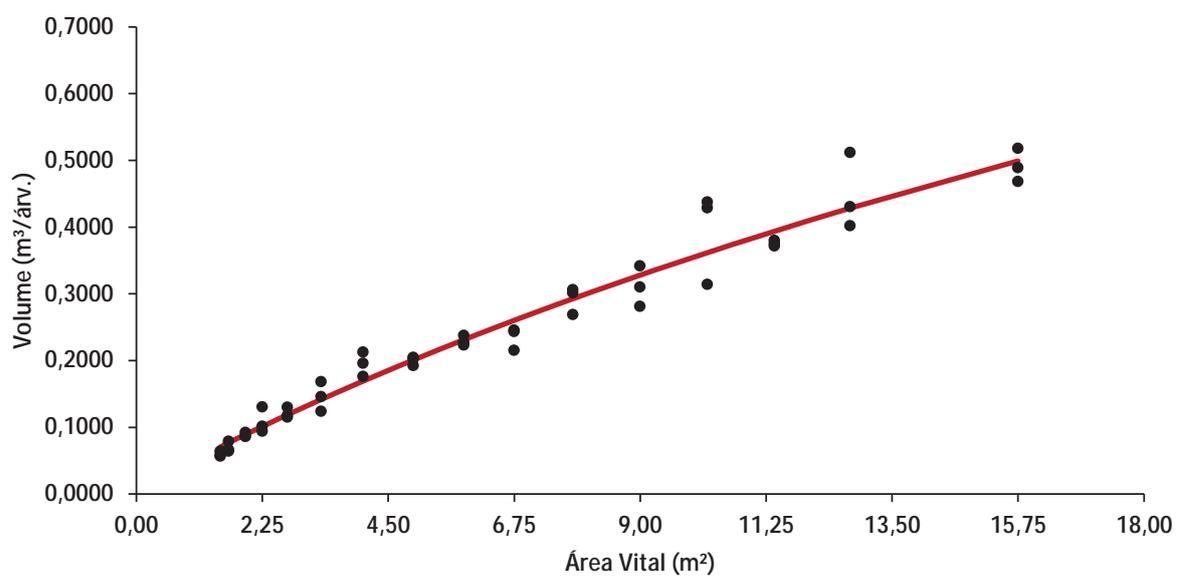


Figura AIII-9 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Weibull ajustado

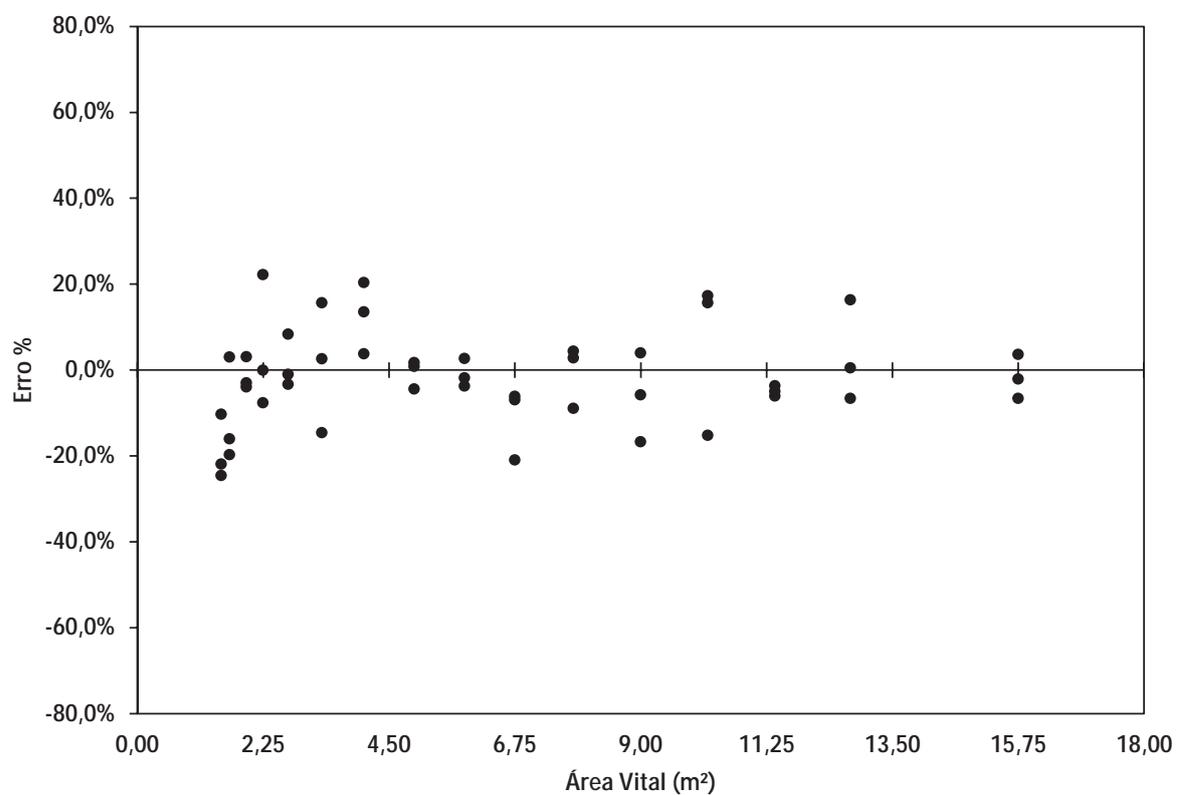


Figura AIII-10 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Weibull, aos 72 meses

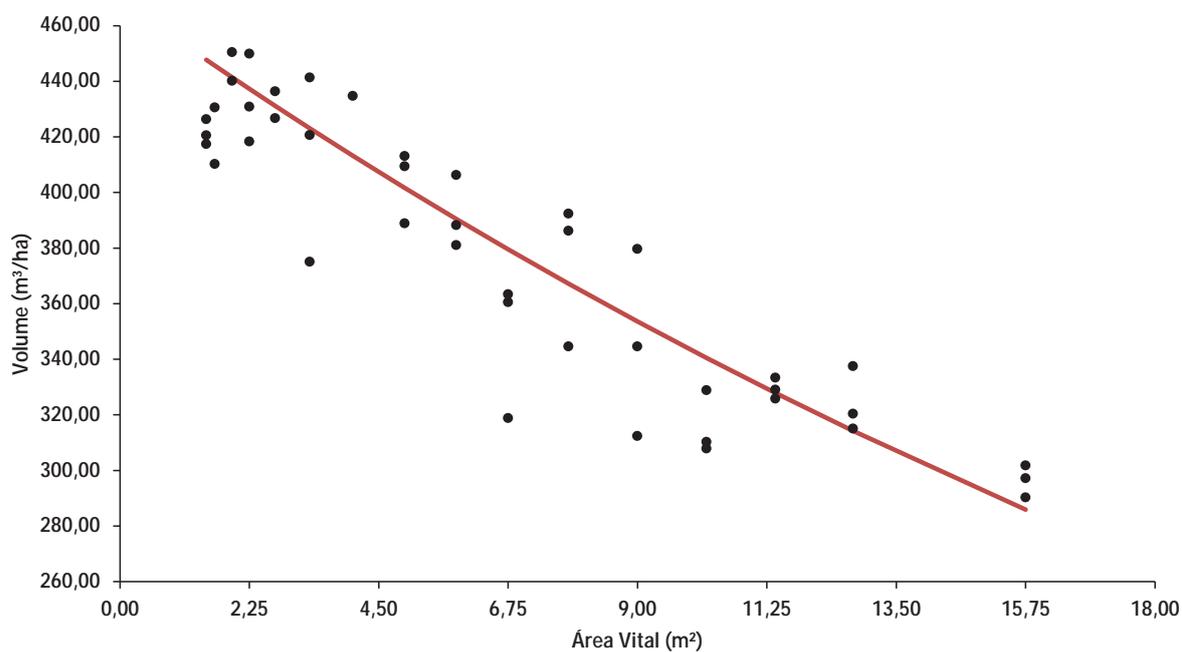


Figura AIII-11 – Volume por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Exponencial ajustado

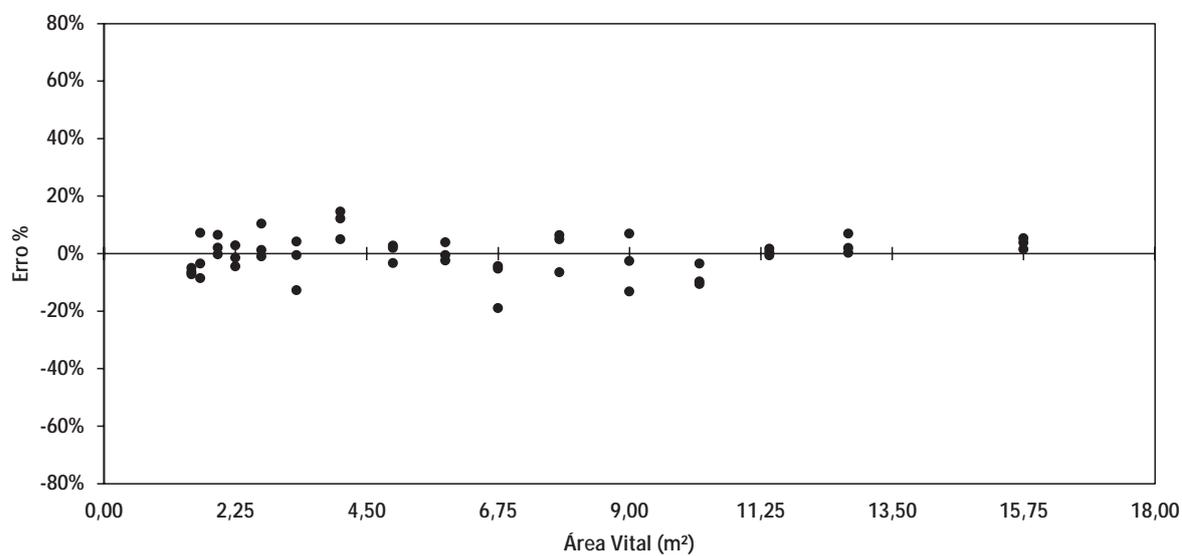


Figura AIII-12 – Distribuição dos resíduos para volume por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Exponencial, aos 72 meses

#### **7.4. APÊNDICE IV**

Modelos ajustados a variável densidade básica da madeira em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

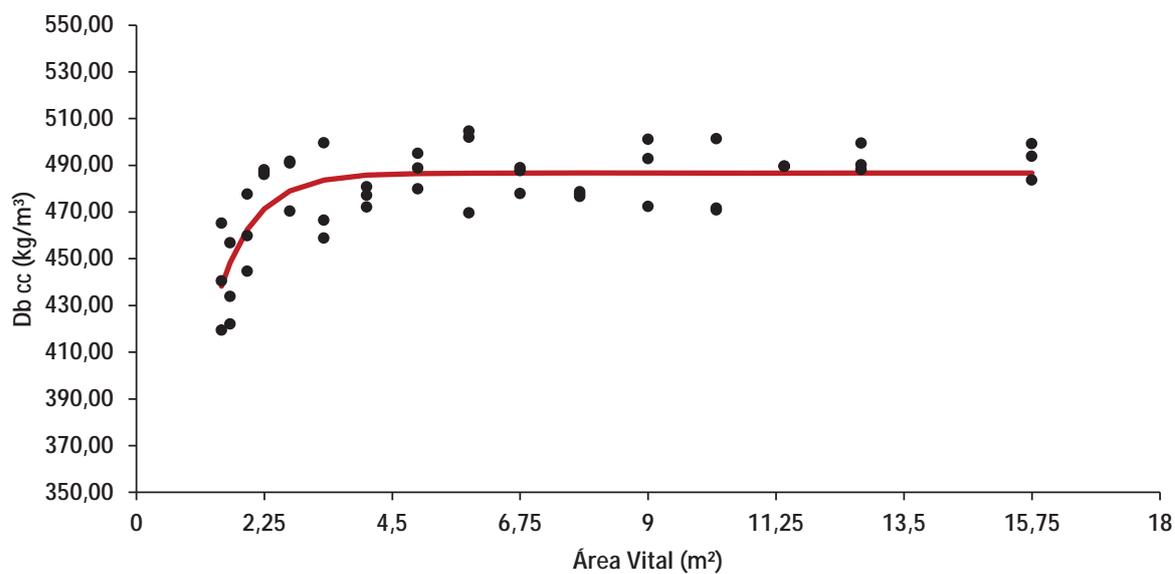


Figura AIV-1 – Densidade básica da madeira aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Chapman-Richards ajustado

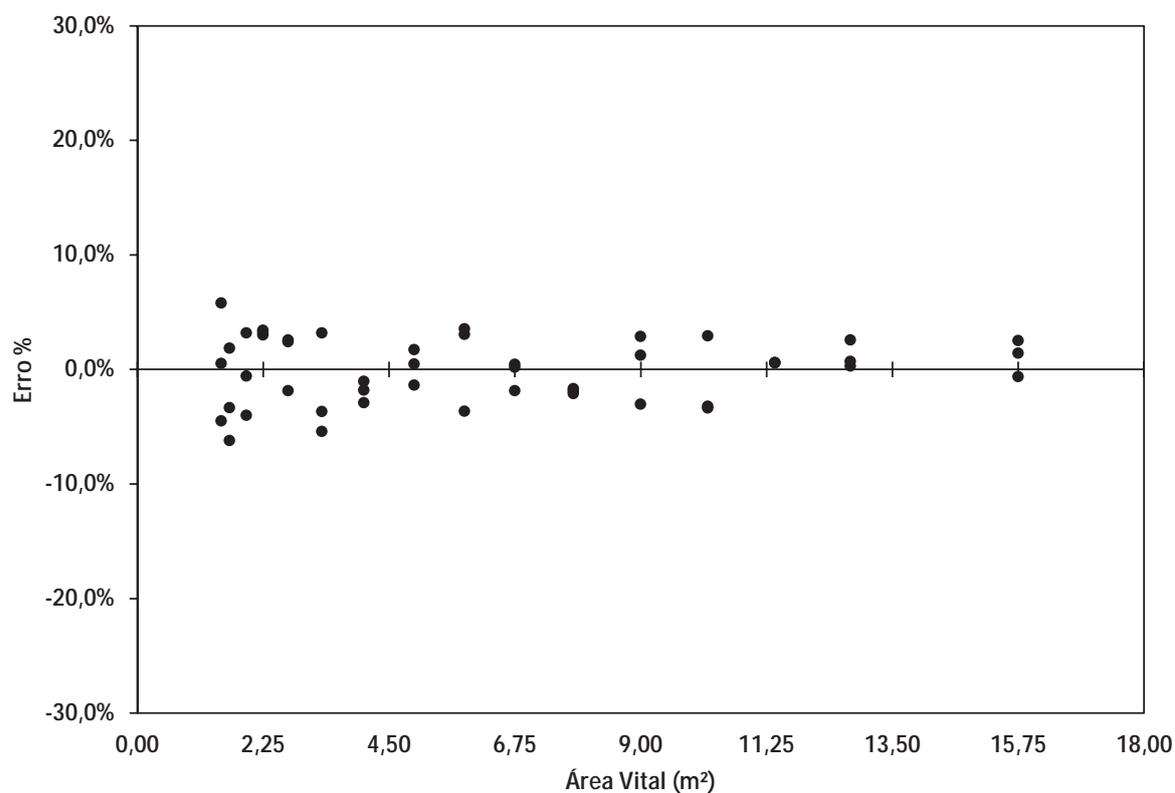


Figura AIV-2 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Chapman-Richards, aos 72 meses

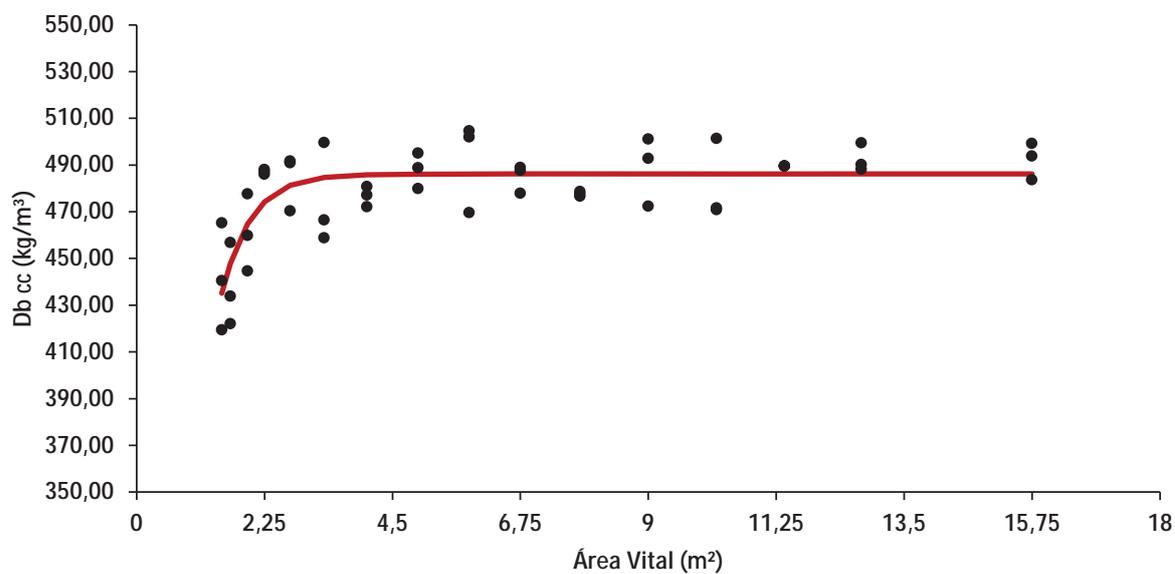


Figura AIV-3 – Densidade básica da madeira aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Gompertz ajustado

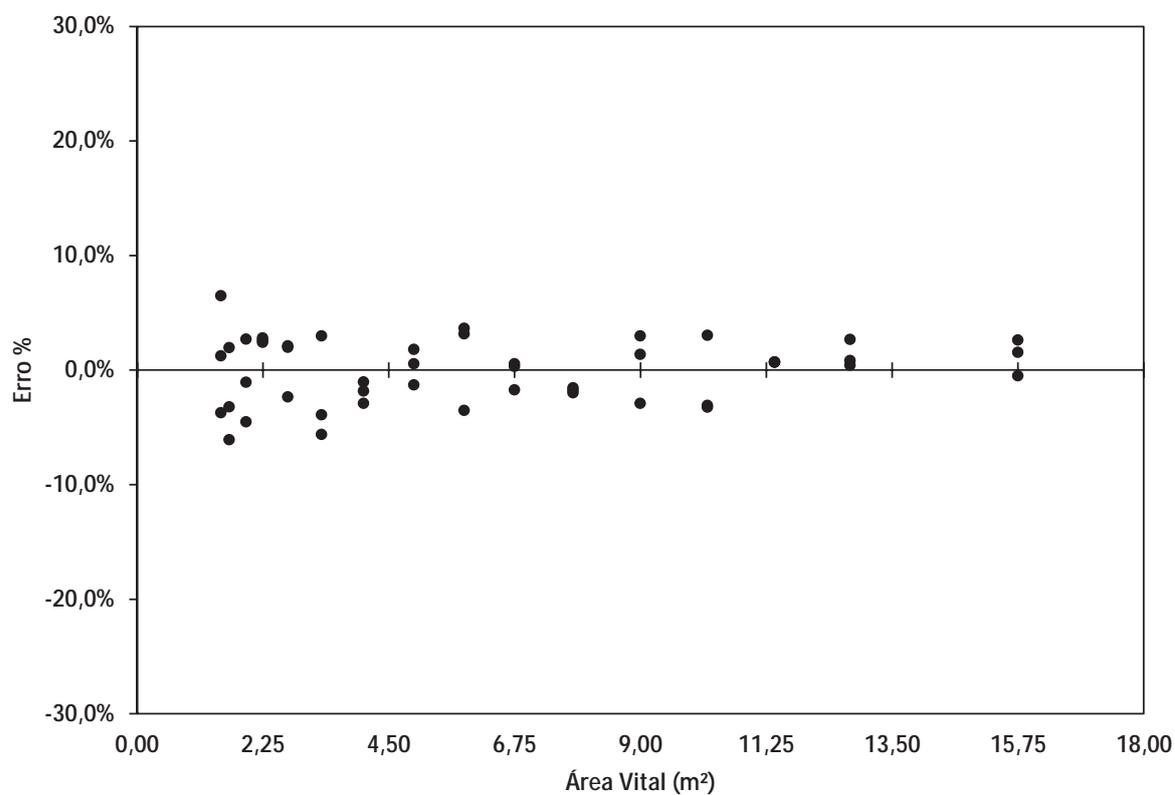


Figura AIV-4 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Gompertz, aos 72 meses

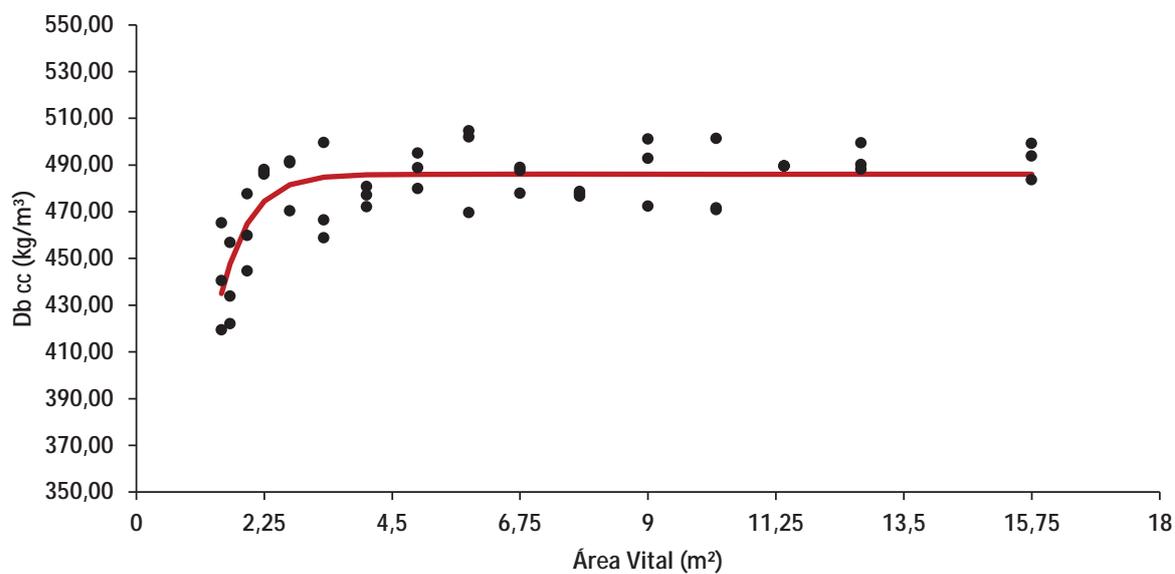


Figura AIV-5 – Densidade básica da madeira aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Logístico ajustado

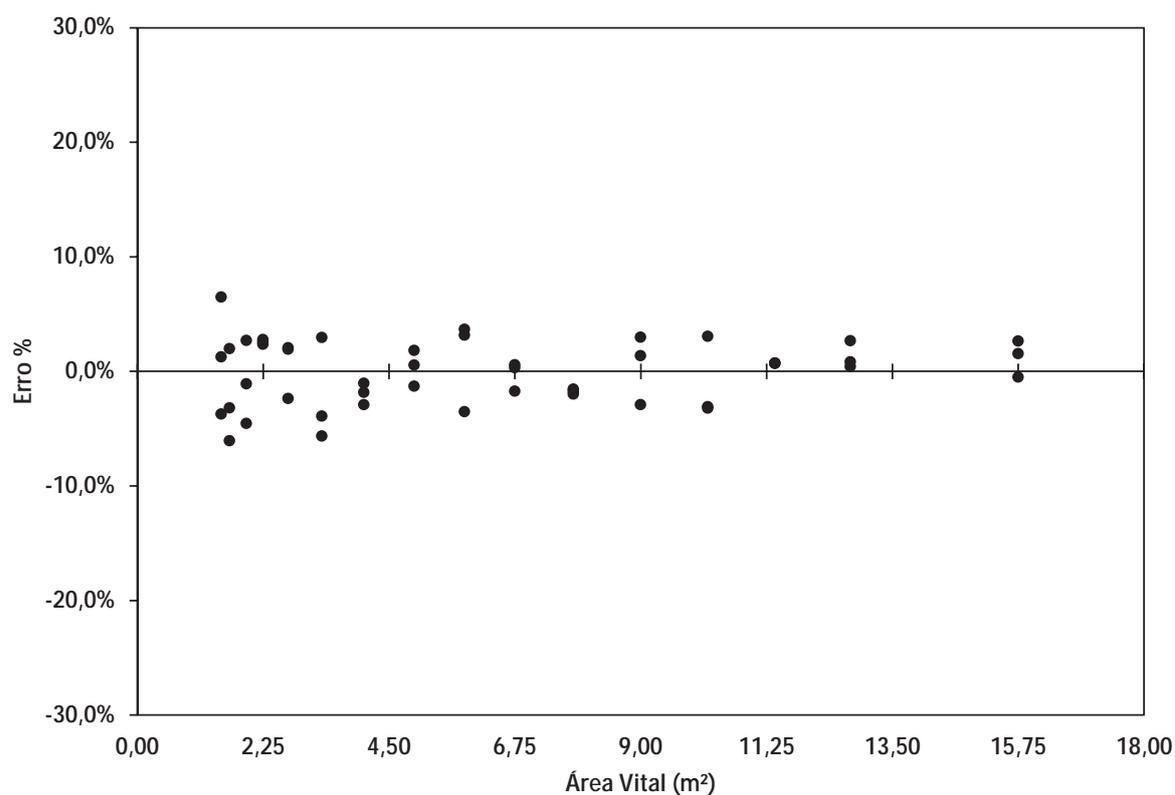


Figura AIV-6 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Logístico, aos 72 meses

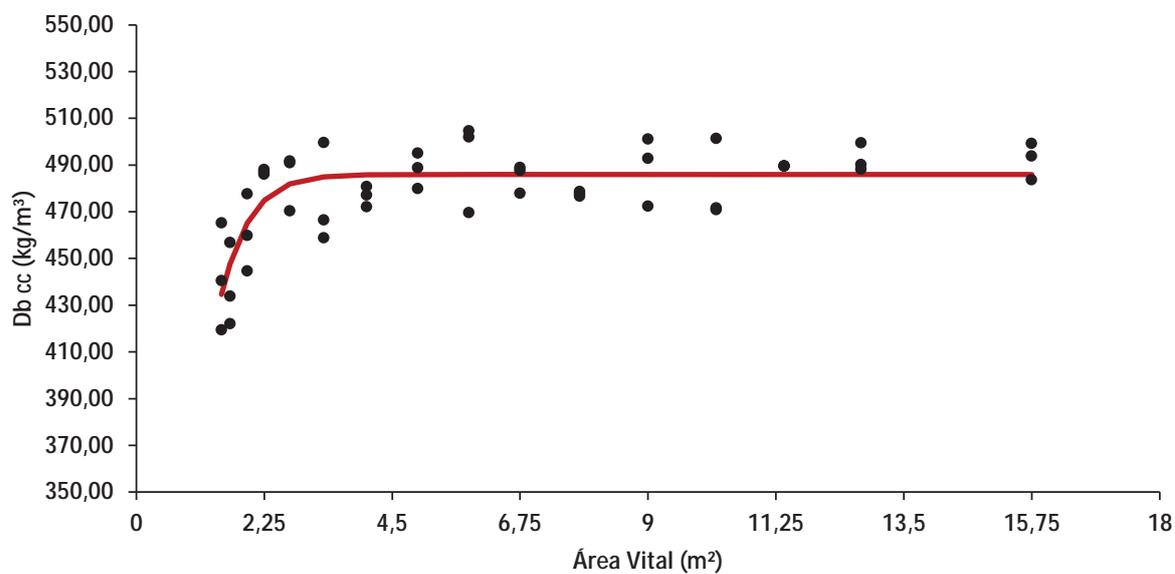


Figura AIV-7 – Densidade básica da madeira aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Weibull ajustado

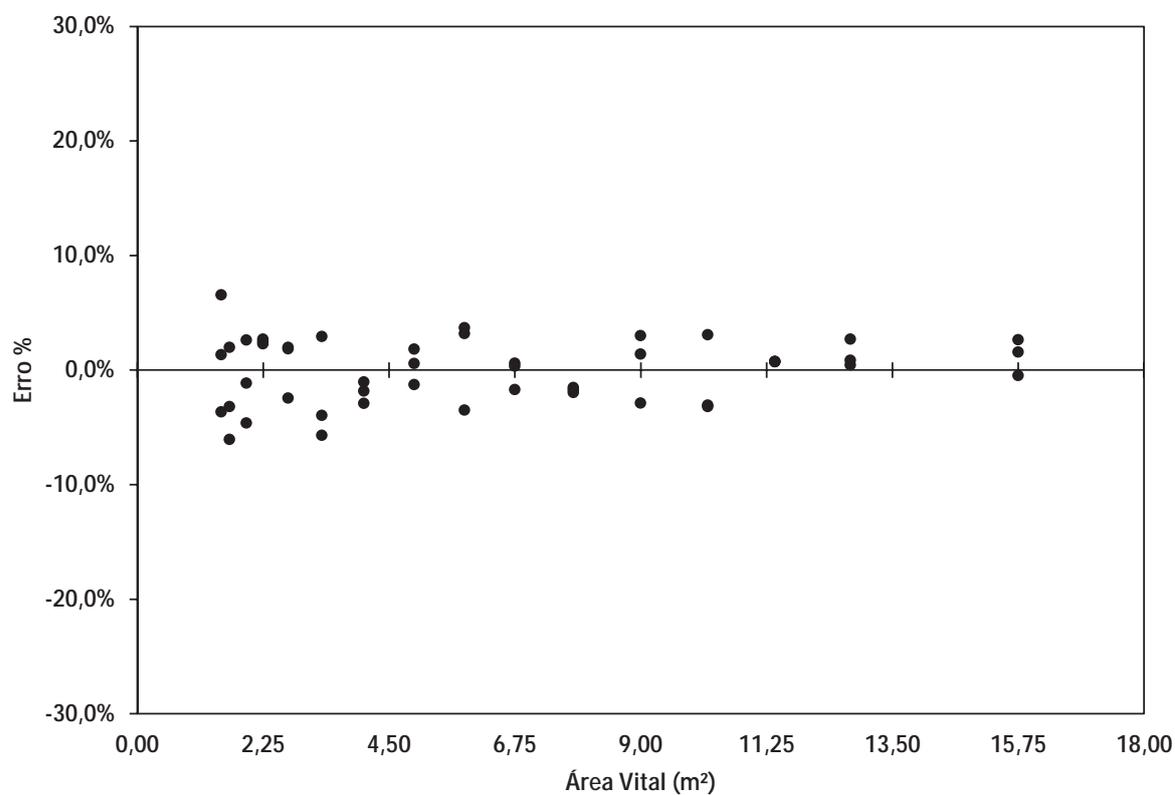


Figura AIV-8 – Distribuição dos resíduos para densidade básica da madeira em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Weibull, aos 72 meses

## **7.5. APÊNDICE V**

Modelos ajustados a variável percentual de casca em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

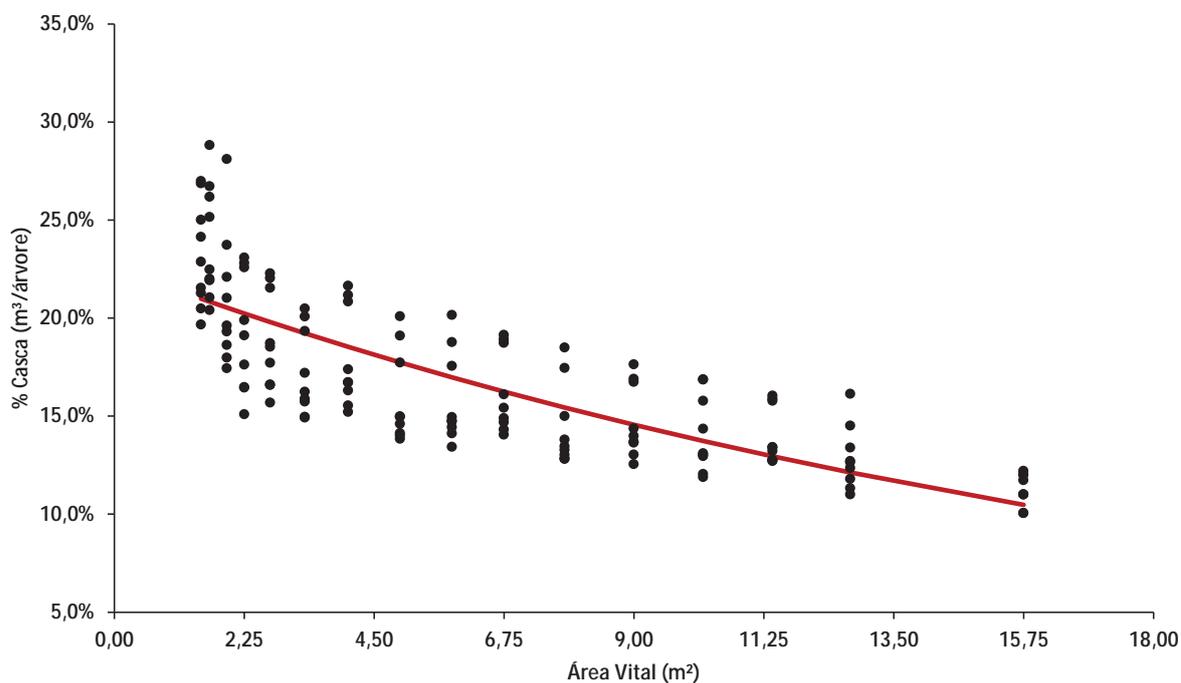


Figura AV-1 – Percentual de casca por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Exponencial ajustado

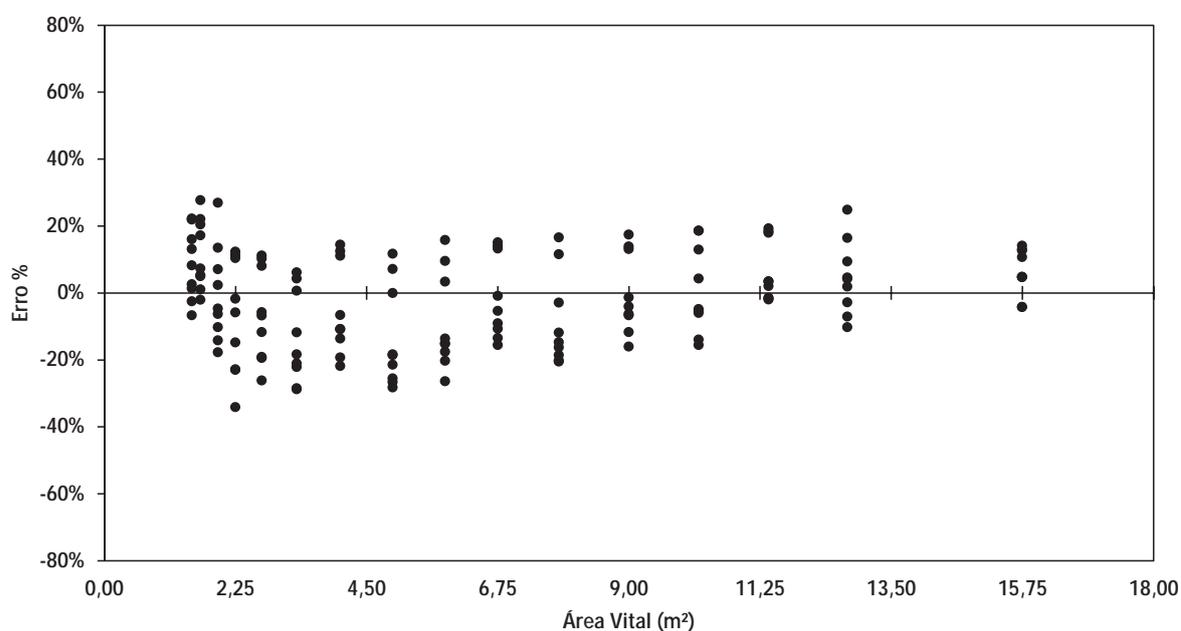


Figura AV-2 – Distribuição dos resíduos para percentagem de casca da árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Exponencial, aos 72 meses

## **7.6. APÊNDICE VI**

Modelos ajustados a variável biomassa do fuste em resposta ao espaçamento de plantio e seus respectivos gráficos de distribuição dos resíduos.

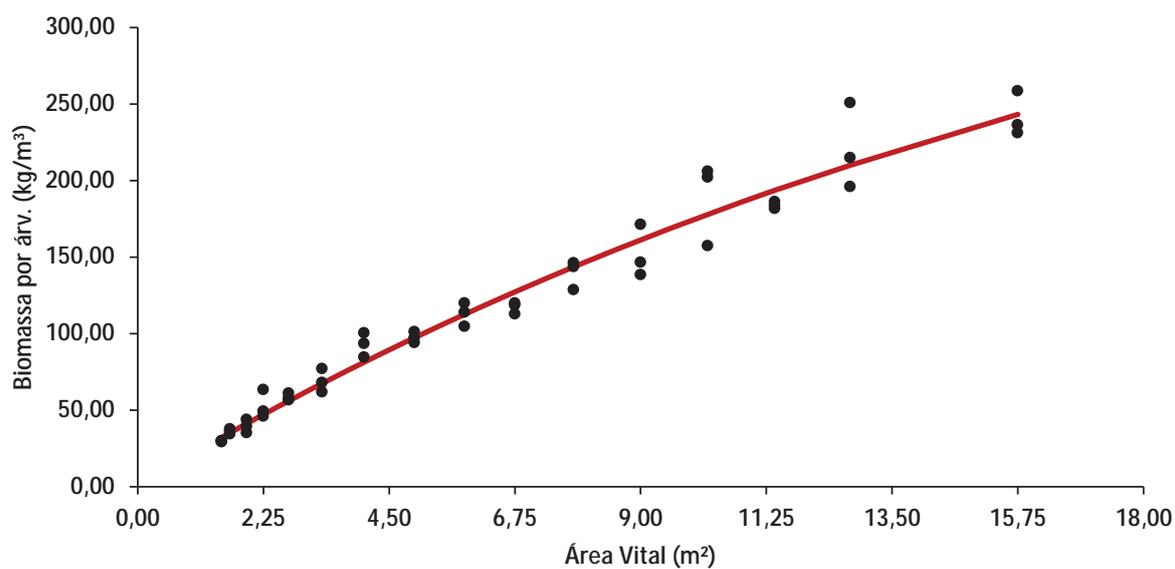


Figura AVI-1 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Von Bertalanffy ajustado

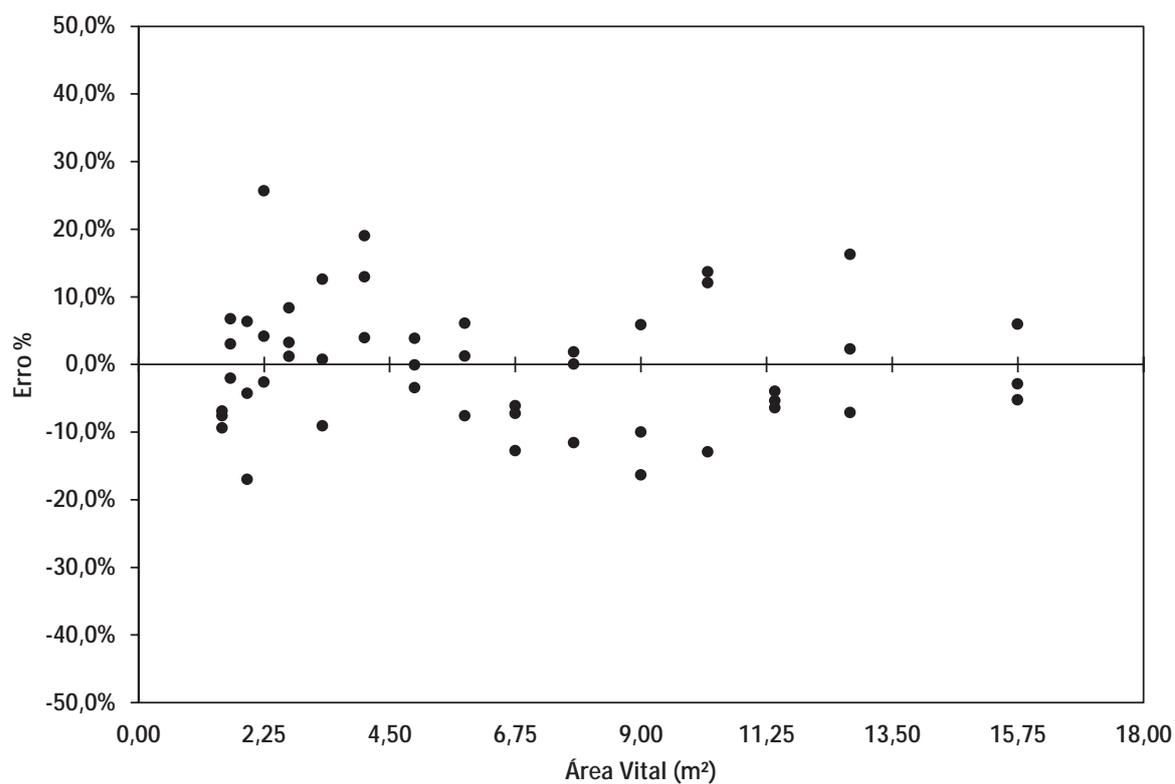


Figura AVI-2 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Von Bertalanffy, aos 72 meses

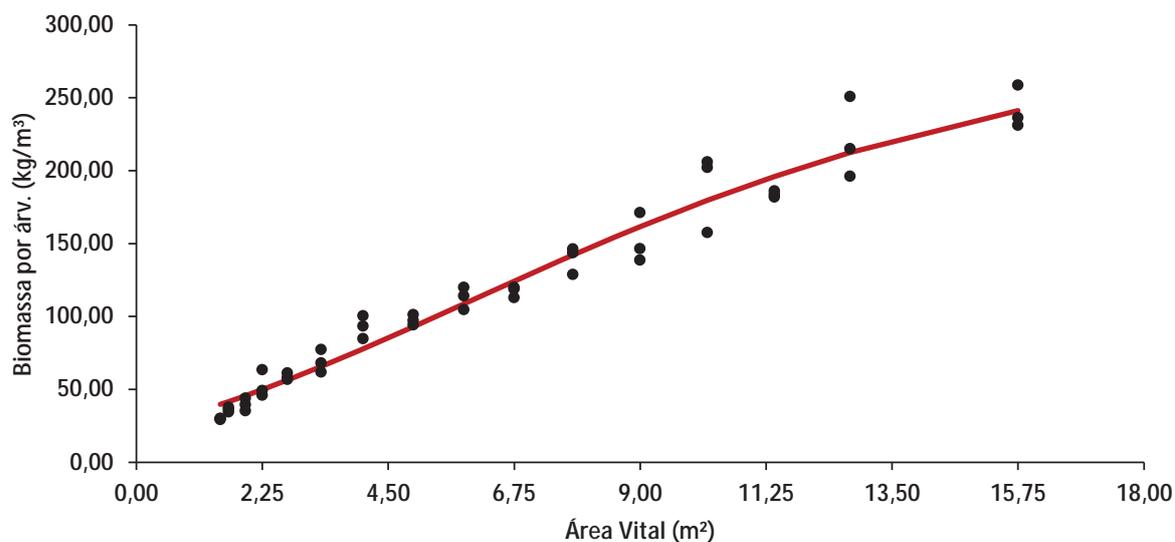


Figura AVI-3 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Gompertz ajustado

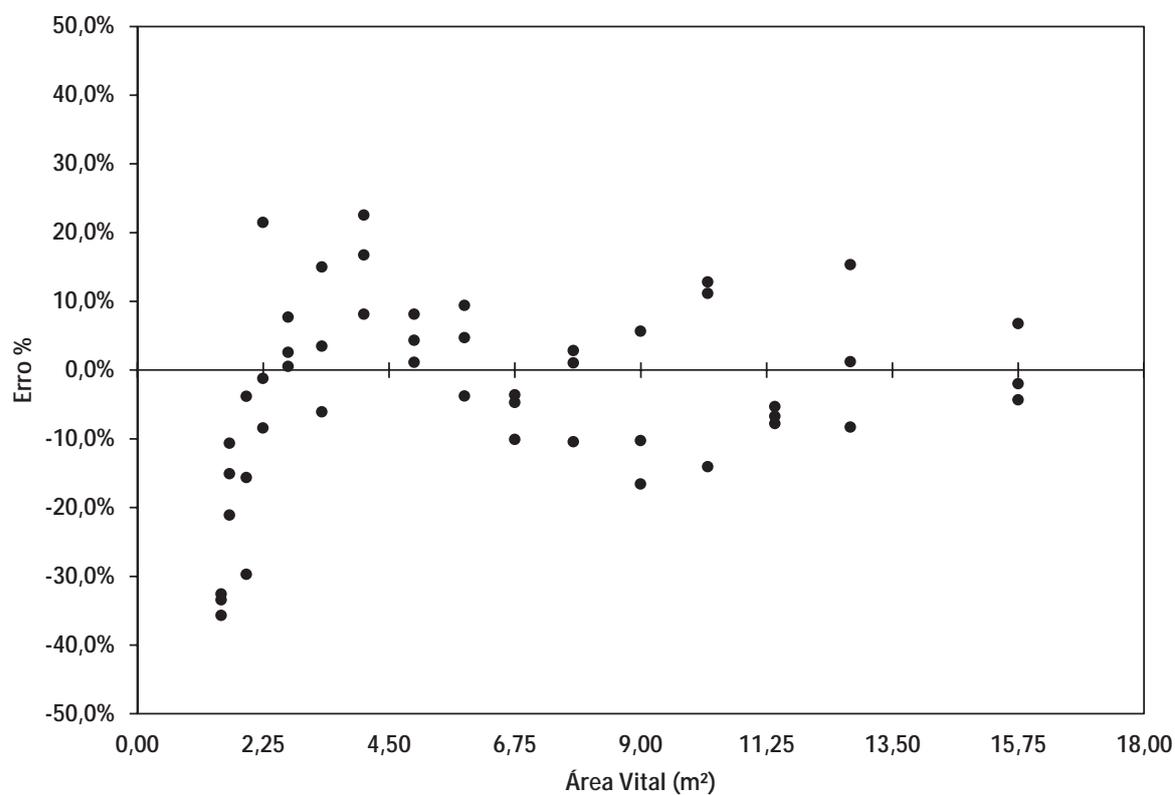


Figura AVI-4 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Gompertz, aos 72 meses

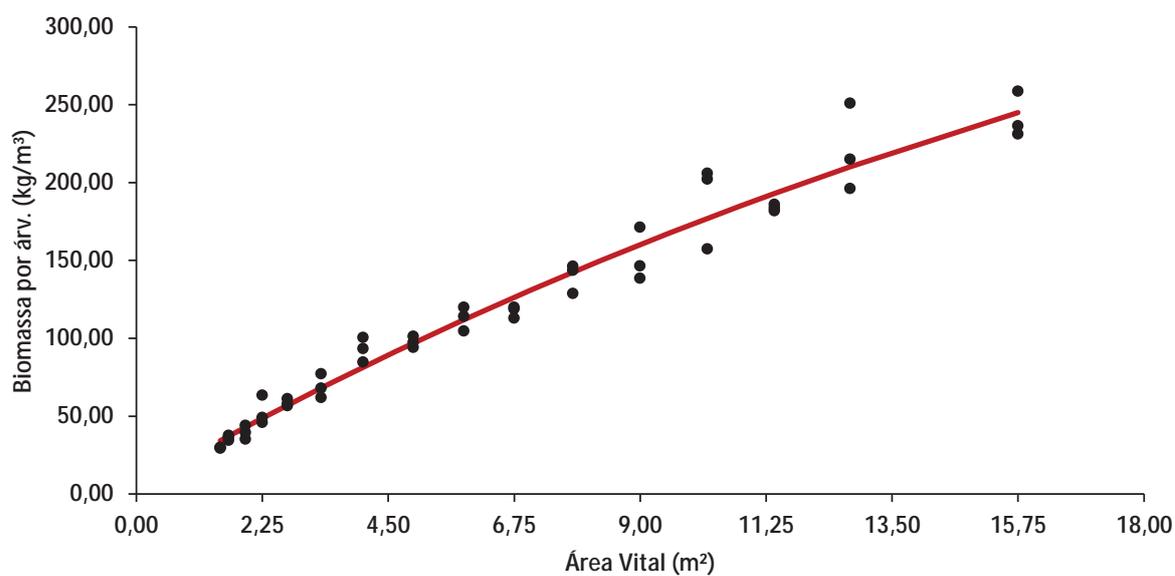


Figura AVI-5 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo de Brody ajustado

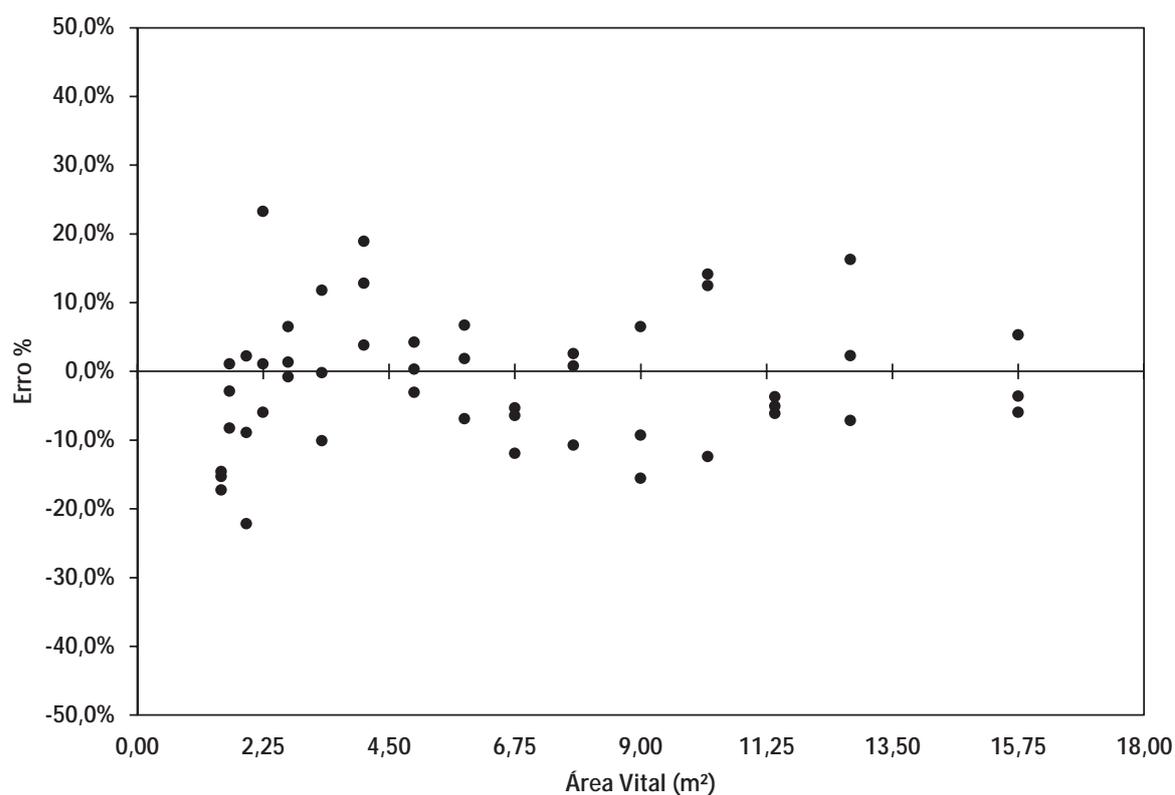


Figura AVI-6 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo de Brody, aos 72 meses

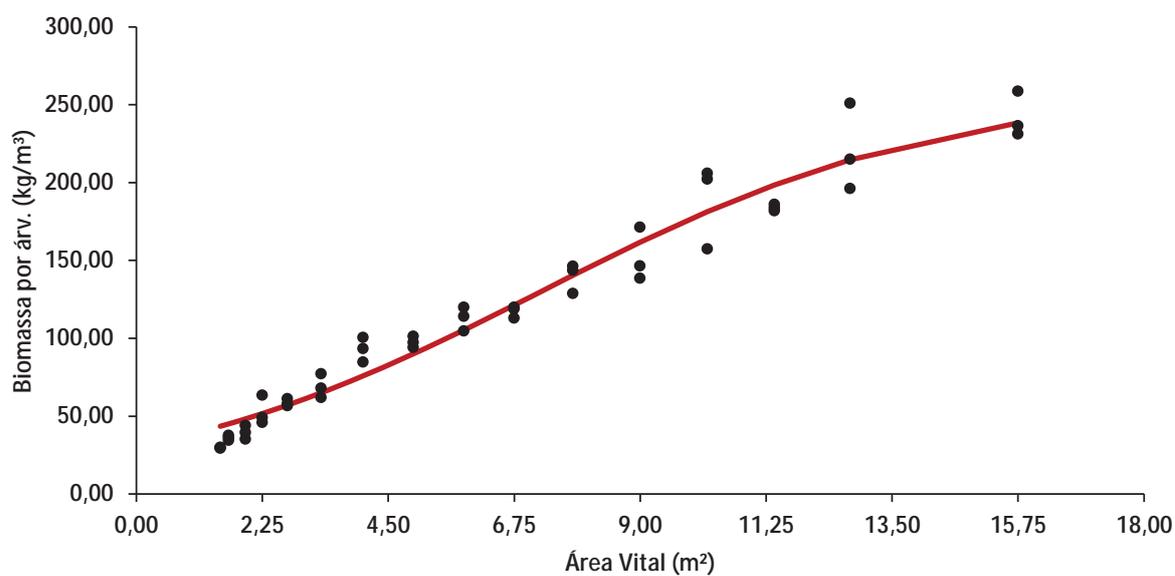


Figura AVI-7 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Logístico ajustado

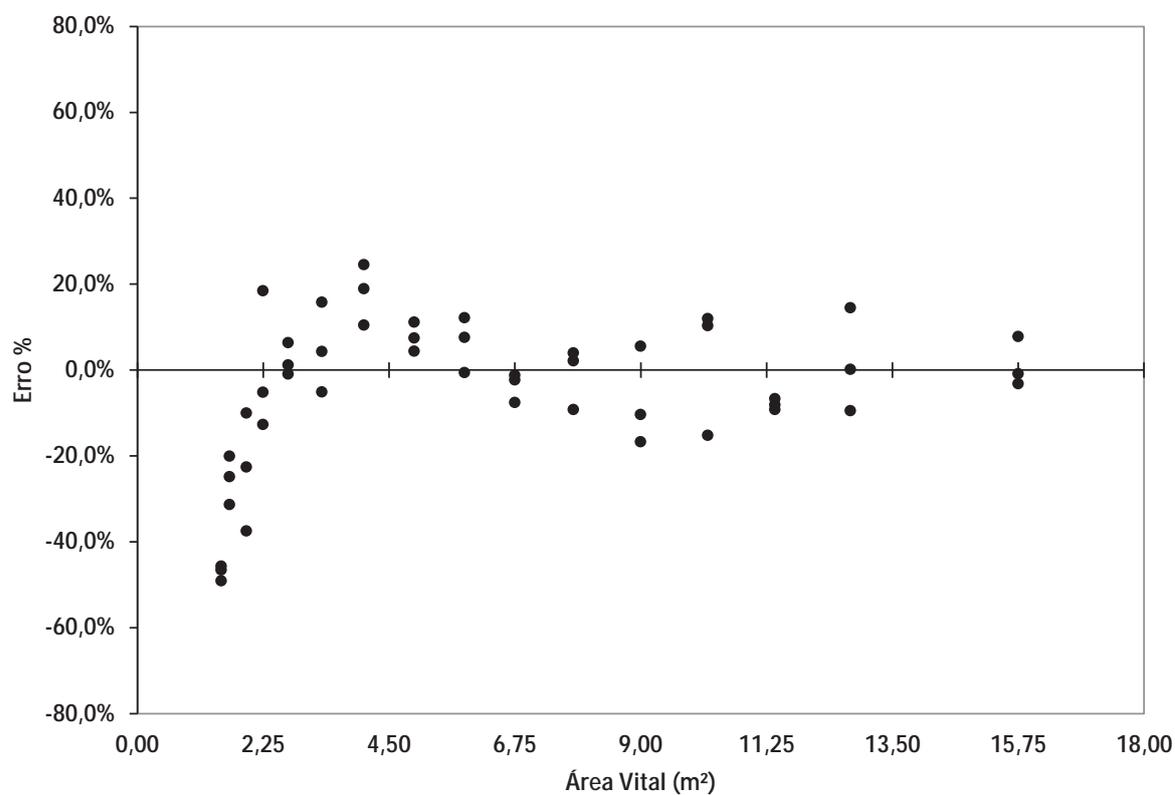


Figura AVI-8 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Logístico, aos 72 meses

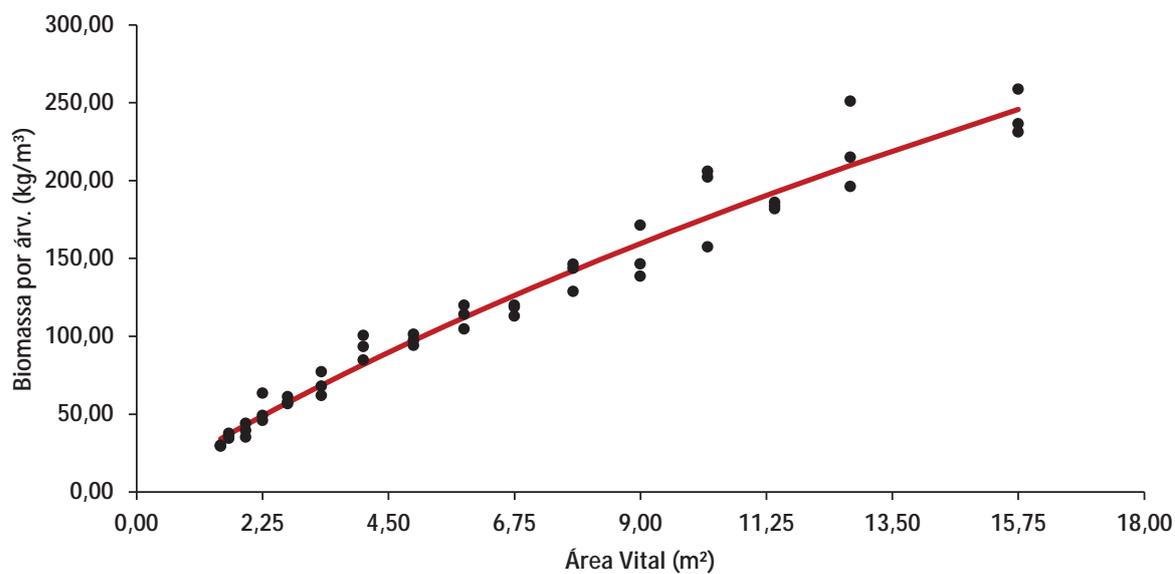


Figura AVI-9 – Biomassa do fuste por árvore aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Weibull ajustado

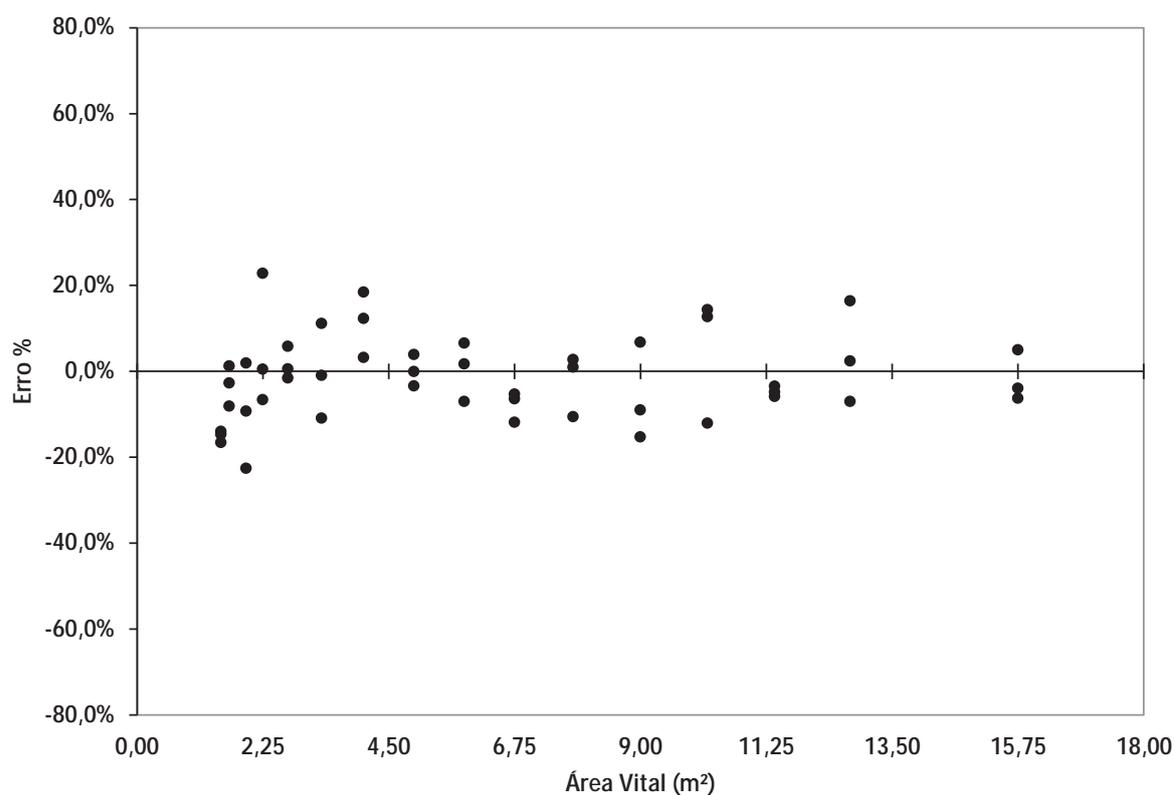


Figura AVI-10 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por árvore em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Weibull, aos 72 meses

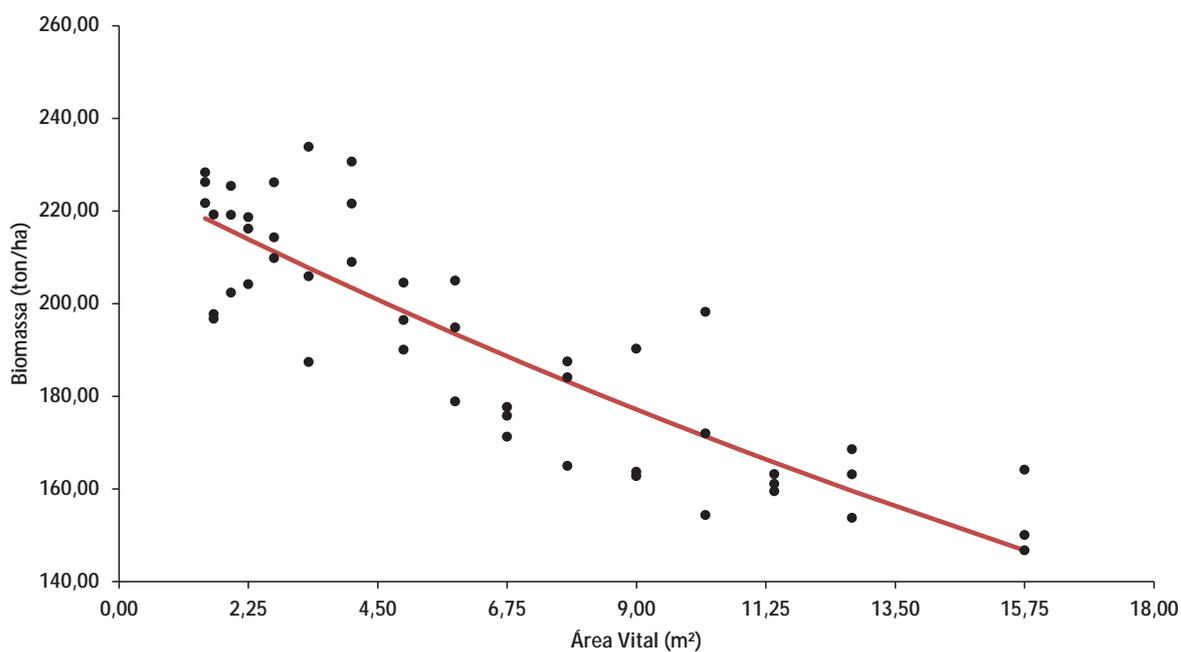


Figura AVI-11 – Biomassa do fuste por hectare aos 72 meses em função da área vital dos tratamentos e representação gráfica do modelo Exponencial ajustado

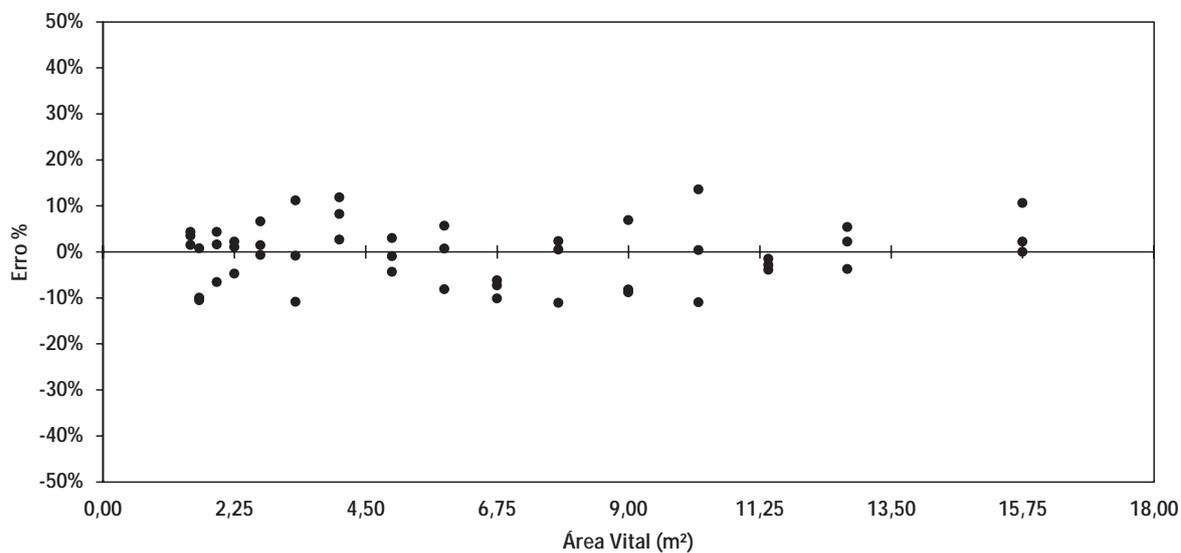


Figura AVI-12 – Distribuição dos resíduos para biomassa do fuste por hectare em função do espaçamento, ajustado com o Modelo Exponencial, aos 72 meses